

Elaboración del mapa de riesgos de calidad del agua potable para la Quebrada Corales y el Río San Francisco ubicados en el municipio de Guatavita

**Luisa Fernanda León Suárez
Karen Alejandra Osma Sánchez**

**Proyecto de grado para optar al título de:
Ingeniero Ambiental**

**Universidad Santo Tomás
Facultad de Ingeniería Ambiental
Bogotá D.C.
2017**



Elaboración del mapa de riesgos de calidad del agua potable para la Quebrada Corales y el Río San Francisco ubicados en el municipio de Guatavita

Luisa Fernanda León Suárez
Karen Alejandra Osma Sánchez

Johan Alexander Álvarez Berrio
Ingeniero ambiental y sanitario
MSc. Toxicología
(Director)

Andrés Felipe Martínez Urrego
Ingeniero químico
Magíster en educación
(Codirector)

Universidad Santo Tomás
Facultad de Ingeniería Ambiental
Bogotá D.C.
2017

RESUMEN

Teniendo en cuenta la importancia de los mapas de riesgo, el objetivo general de este proyecto fue la elaboración del mapa de riesgos de la calidad del agua potable para la Quebrada Corales y el Río San Francisco, los cuales abastecen al casco urbano del municipio de Guatavita ubicado en el departamento de Cundinamarca. En las fuentes de abastecimiento se llevaron a cabo diferentes muestreos en donde se determinaron diversos parámetros fisicoquímicos y microbiológicos analizados en el Centro Tecnológico de Ambiente y Desarrollo Sostenible (CTAS) de la Universidad de La Salle y en el Laboratorio Conoser Ltda., con el fin de evaluar la calidad del agua de estas fuentes; a su vez se tuvieron en cuenta diferentes aspectos propios de la zona relacionados con las distintas actividades económicas y antrópicas más relevantes allí realizadas, los cuales permitieron establecer la posible afectación en la calidad de las fuentes de abastecimiento del municipio y por ende en la salud de sus habitantes. De acuerdo a esto se logró establecer la presencia de algunos compuestos químicos tales como cadmio, plomo, níquel, aluminio y molibdeno los cuales inciden de manera negativa sobre el recurso hídrico y en la salud de la personas que la consumen, ocasionando que el Índice de Riesgo de Calidad de Agua (IRCA) sea inviable sanitariamente.

Palabras clave: mapa de riesgo, fuentes de abastecimiento, calidad de agua, IRCA.

ABSTRACT

Taking into account the importance of the risk maps, the overall objective of this project is the development of map of risk of the quality of drinking water for the corals Creek and the San Francisco River, which supply water to the town of the municipality of Guatavita located in the Department of Cundinamarca. In sources of supply were carried out different surveys where various physicochemical and microbiological parameters analyzed in the technology centre of environment and sustainable development (CTAS) of the Universidad de La Salle were determined and the Laboratory Conoser Ltda., in order to assess the quality of the water from these sources; at the same time took into account different aspects of the area related to different activities economic and anthropogenic most relevant there, which allowed to establish the possible involvement in the quality of the sources of supply of the municipality and therefore on the health of its inhabitants. According to this it succeeded in establishing the presence of certain chemicals such as cadmium, lead, nickel, aluminum and molybdenum which directly affect water resources and on the health of the people who consume it, causing the rate of Risk of water quality (IRCA) is infeasible sanitarily.

Key words: map of risk, sources of supply, quality of water, IRCA.

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Especies de Flora.....	21
Tabla 2. Especies de Aves.....	23
Tabla 3. Especies de Mamíferos.....	24
Tabla 4. Especies de Anfibios y Reptiles.....	24
Tabla 5. Normatividad.....	31
Tabla 6. Población del casco urbano por grupo etario del municipio de Guatavita.....	34
Tabla 7. Valores permisibles de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para agua de consumo humano.....	35
Tabla 8. Metodologías utilizadas para la medición de los parámetros fisicoquímicos en el CTAS.37	
Tabla 9. Metodologías utilizadas para la medición de los parámetros químicos y microbiológicos en el Laboratorio Conoser Ltda.....	38
Tabla 10. Puntajes de Riesgo.....	38
Tabla 11. Valores obtenidos del IRCA para el año 2015 y 2016.....	41
Tabla 12. Puntajes de frecuencia de las actividades.....	41
Tabla 13. Puntajes del IRCA.....	41
Tabla 14. Valores obtenidos del IRCA para el año 2015 y 2016.....	41
Tabla 15. Cálculo de las cotas.....	56
Tabla 16. Resultados obtenidos a partir del perfil topográfico.....	58
Tabla 17. Localización de los puntos de muestreo.....	59
Tabla 18. Resultados del análisis de laboratorio Conoser Ltda.....	60
Tabla 19. Valores obtenidos de las mediciones in situ.....	61



Tabla 20. Cumplimiento de los límites permisibles de los parámetros analizados por el CTAS...	62
Tabla 21. Cumplimiento de los límites permisibles de los parámetros analizados por el laboratorio Conoser Ltda.....	63
Tabla 22. Parámetros seleccionados para el cálculo del IRCA.....	64
Tabla 23. Resultados IRCA para los puntos de muestreo.....	64
Tabla 24. Nivel de riesgo del Escenario 1, Rio San Francisco.....	65
Tabla 25. Nivel de riesgo del Escenario 2, Rio San Francisco.....	66
Tabla 26. Nivel de riesgo del Escenario 3, Rio San Francisco.....	66
Tabla 27. Nivel de riesgo del Escenario 1, Quebrada Corales.....	66
Tabla 28. Nivel de riesgo del Escenario 2, Quebrada Corales.....	67
Tabla 29. Nivel de riesgo del Escenario 3, Quebrada Corales.....	67



LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Cálculo del tamaño de la muestra para poblaciones finitas.....	33
Ecuación 2. Cálculo del IRCA.....	39

LISTA DE IMÁGENES

Imagen 1. Bocatomas municipio de Guatavita.....	19
Imagen 2. Actividades económicas del municipio de Guatavita.....	20
Imagen 3. Bocatomas fuente de abastecimiento del acueducto del municipio de Guatavita.....	83
Imagen 4. Aireador de la PTAP de Guatavita.....	84
Imagen 5. Floculador de la PTAP de Guatavita.....	84.
Imagen 6. Sedimentador de la PTAP de Guatavita.....	85
Imagen 7. Filtros de la PTAP de Guatavita.....	85
Imagen 8. Sistema de desinfección de la PTAP de Guatavita.....	86
Imagen 9. Tanques de almacenamiento de la PTAP de Guatavita.....	86
Imagen 10. Laboratorio de la PTAP de Guatavita.....	87

LISTA DE GRÁFICAS

Grafica 1. Número de casos por diagnósticos de la población urbana y rural del municipio de Guatavita.....	45
Grafica 2. Número de casos por diagnósticos de la población urbana del municipio de Guatavita.....	46
Grafica 3. Número de casos por diagnósticos de la población urbana del municipio de Guatavita para el grupo etario de 0 a 4 años.....	47
Grafica 4. Número de casos por diagnósticos de la población urbana del municipio de Guatavita para el grupo etario de 5 a 14 años.....	48
Grafica 5. Número de casos por diagnósticos de la población urbana del municipio de Guatavita para el grupo etario de 15 a 64 años.....	49
Grafica 6. Número de casos por diagnósticos de la población urbana del municipio de Guatavita para el grupo etario de mayores a 65 años.....	50
Gráfica 7. Resultados de las encuestas aplicadas en el casco urbano, pregunta número siete.....	52
Gráfica 8. Resultados de las encuestas aplicadas en el casco urbano, pregunta número ocho.....	53
Gráfica 9. Resultados de las encuestas aplicadas en el casco urbano, pregunta número once.....	54
Gráfica 10. Resultados de las encuestas aplicadas en el casco urbano, pregunta número doce.....	54
Gráfica 11. Resultados de las encuestas aplicadas en el casco urbano, pregunta número catorce.....	55
Gráfica 12. Resultados de las encuestas aplicadas en el casco urbano, pregunta número quince.....	56
Gráfica 13. Perfil topográfico de la Quebrada Corales.....	57
Gráfica 14. Perfil topográfico del Río San Francisco.....	58
Gráfica 15. Concentraciones de nitritos.....	70



Gráfica 16. Concentraciones de aluminio.....	71
Gráfica 17. Concentraciones de cadmio obtenidas por el CTAS.....	72
Gráfica 18. Concentraciones de níquel.....	73
Gráfica 19. Concentraciones de plomo obtenidas por el CTAS.....	74
Gráfica 20. Concentraciones de molibdeno.....	75
Gráfica 21. Concentración de nitritos a la salida y entrada de la PTAP.....	88
Gráfica 22. Concentración de aluminio a la salida y entrada de la PTAP.....	88
Gráfica 23. Concentraciones de plomo a la entrada y salida de la PTAP.....	89
Gráfica 24. Concentraciones de hierro a la entrada y salida de la PTAP.....	90
Gráfica 25. Concentraciones de Manganeso a la entrada y salida de la PTAP.....	90
Gráfica 26. Concentraciones de cadmio a la entrada y salida de la PTAP.....	91

LISTA DE ANEXOS

- Anexo 1. Mapa de los límites del municipio de Guatavita
- Anexo 2. Mapa de la división política de Guatavita
- Anexo 3. Formato de encuesta casco rural
- Anexo 4. Mapa de la división de predios de la vereda Corales
- Anexo 5. Mapa de la división de predios de la vereda Carbonera Alta
- Anexo 6. División por polígonos del casco urbano de Guatavita
- Anexo 7. Formato de encuesta casco urbano
- Anexo 8. Encuesta número 01 diligenciado casco rural, Quebrada Corales
- Anexo 9. Encuesta número 02 diligenciada casco rural, Quebrada Corales
- Anexo 10. Resultados de las encuestas aplicadas en predios de la Quebrada Corales
- Anexo 11. Encuesta número 01 diligenciado casco rural, Rio San Francisco
- Anexo 12. Resultados de las encuesta aplicada en predios del Rio San Francisco
- Anexo 13. Resultados del CTAS, parámetros fisicoquímicos
- Anexo 14. Resultados de Laboratorio Conoser Ltda.
- Anexo 15. IRCA Escenario 1, Quebrada Corales
- Anexo 16. IRCA Escenario 1, Rio San Francisco
- Anexo 17. Concentraciones de plomo, Rio San Francisco
- Anexo 18. Concentraciones de plomo, Quebrada Corales
- Anexo 19. Concentraciones de cadmio, Rio San Francisco
- Anexo 20. Concentraciones de cadmio, Quebrada Corales
- Anexo 21. Concentraciones de níquel, Rio San Francisco
- Anexo 22. Concentraciones de níquel, Quebrada Corales

Anexo 23. Concentraciones de *E.coli*, Río San Francisco

Anexo 24. Concentraciones de *E.coli*, Quebrada corales

Anexo 25. Concentraciones de coliformes totales, Río San Francisco

Anexo 26. Concentraciones de coliformes totales, Quebrada Corales

Anexo 27. IRCA Escenario 2, Río San Francisco

Anexo 28. IRCA Escenario 2, Quebrada Corales

Anexo 29. IRCA Escenario 3, Río San Francisco

Anexo 30. IRCA Escenario 3, Quebrada Corales

Anexo 31. Mapa de Riesgo Escenario 1, Río San Francisco

Anexo 32. Mapa de Riesgo Escenario 2, Río San Francisco

Anexo 33. Mapa de Riesgo Escenario 3, Río San Francisco

Anexo 34. Mapa de Riesgo Escenario 1, Quebrada Corales

Anexo 35. Mapa de Riesgo Escenario 2, Quebrada Corales

Anexo 36. Mapa de Riesgo Escenario 3, Quebrada Corales

Anexo 37. Resultados Laboratorio Conoser Ltda. Bocatoma Río San Francisco

Anexo 38. Resultados Laboratorio Conoser Ltda. PTAP Guatavita

Anexo 39. Resultados Laboratorio Conoser Ltda. Bocatoma Quebrada Corales



LISTA DE ABREVIATURAS

OMS: Organización Mundial de la Salud

IRCA: Índice de Riesgo de Calidad del Agua

EOT: Esquema de Ordenamiento Territorial

EMSER: Empresa de Servicios Públicos de Guatavita

COT: Carbono Orgánico Total

mg: miligramo

L: litro

cm: centímetro

PTAP: Planta de Tratamiento de Agua Potable

IDEAM: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

CTAS: Centro Tecnológico De Ambiente y Desarrollo Sostenible

E.coli: Escherichia Coli

RIPS: Registros Individuales de Prestación de Servicios de Salud

Contenido

Introducción	16
1. Objetivos	18
1.1. Objetivo General.....	18
1.2. Objetivos específicos.....	18
2. Marco de referencia.....	19
2.1. Marco contextual	19
2.1.1. Localización	19
2.1.2. Características generales del municipio.....	20
2.1.2.1. Economía.....	20
2.1.2.2. Flora	21
2.1.2.3. Fauna.....	22
2.2. Marco teórico.....	25
2.2.1. Gestión del riesgo de los recursos hídricos	25
2.2.2. Calidad del agua	25
2.2.3. Agua y salud.....	29
2.2.4. Gestión de riesgos en agua y saneamiento.....	29
2.2.5. Funciones y responsabilidades en la gestión de la seguridad del agua de consumo	29
2.2.6. Vigilancia y calidad del agua de consumo	30
2.2.7. Mapa de riesgo de calidad del agua.....	30
2.3. Marco legal.....	31
3. Metodología.....	32
3.1. Recopilación de información	32
3.2. Reconocimiento de la zona objeto de estudio	32
3.3. Aplicación de encuestas.....	33
3.4. Determinación de las características fisicoquímicas y microbiológicas de las fuentes de abastecimiento.....	34
3.4.1. Identificación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las fuentes de abastecimiento	34
3.4.2. Batimetría	35
3.4.3. Localización de los puntos de muestreo	36
3.4.4. Toma de muestras.....	36

3.4.5.	Análisis de las muestras en el laboratorio.....	37
3.5.	Cálculo de los Índices de Riesgo de Calidad del Agua (IRCA), Índice de Riesgo Municipal por Abastecimiento de Agua para Consumo Humano (IRABAm) y el Índice de Riesgo por Abastecimiento de Agua por parte de la Persona Prestadora (IRABApp)	38
3.6.	Análisis estadístico de los datos.....	40
3.7.	Revisión de los Registros Individuales de Prestación de Servicios de Salud (RIPS)	40
3.8.	Elaboración de los mapas de riesgo.....	40
3.9.	Elaboración de recomendaciones para los puntos críticos sanitarios	41
3.10.	Diagnóstico de la Planta de Tratamiento de Agua Potable	42
4.	Revisión y análisis de la información secundaria.....	43
4.1.	Información suministrada por EMSER.....	43
4.2.	Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT)	44
4.3.	Revisión de los RIPS	44
5.	Resultados.....	51
5.1.	Aplicación de encuestas	51
5.2.	Batimetría.....	56
5.3.	Localización de los puntos de muestreo.....	59
5.4.	Resultados de laboratorio	60
5.5.	Cálculo del IRCA.....	62
5.6.	Mapas de riesgo.....	65
6.	Discusión.....	68
6.1.	Calidad del agua de las fuentes de abastecimiento (Río San Francisco y Quebrada Corales).....	68
6.2.	Efectos de los diferentes compuestos presentes en las fuentes de abastecimiento sobre la salud de la población.....	75
6.3.	Determinación de los puntos críticos sanitarios.....	80
6.4.	Mapas de riesgo de las fuentes de abastecimiento	81
7.	Diagnóstico de la planta de tratamiento de agua potable (PTAP)	83
7.1.	Estado actual	83
7.2.	Calidad del agua de la PTAP	88
8.	Impacto social.....	92
9.	Conclusiones	94
10.	Recomendaciones	95
11.	Bibliografía.....	96

INTRODUCCIÓN

El ser humano para subsistir requiere de diversos recursos naturales que le brinden lo necesario para lograr desarrollarse y desenvolverse en distintos ámbitos, dentro de estos recursos se encuentra el agua como elemento fundamental de la vida teniendo en cuenta que todas las personas deben disponer de un suministro satisfactorio (suficiente, inocuo y accesible) [1], ya que este es indispensable en diferentes actividades que desarrolla el hombre tales como la agricultura, la alimentación, procesos productivos, entre otras. A partir de esto la disponibilidad del agua tanto en cantidad como en calidad es importante para el desarrollo económico y social de una región [2].

El agua salubre y fácilmente accesible es importante para la salud pública, ya sea que se utilice para beber, para uso doméstico, para producir alimentos o para fines recreativos. La mejora del abastecimiento del agua, del saneamiento y de la gestión de los recursos hídricos puede impulsar el crecimiento económico de los países y contribuir en gran medida a la reducción de la pobreza [3].

Colombia cuenta con numerosas fuentes hídricas, posicionando al país como potencia en dicho recurso. Sin embargo, el agua no solo se procesa y se usa, sino también se contamina a causa de las acciones antrópicas y de la incorporación de una serie de elementos extraños bien sea de origen físico, químico o natural que a su vez limitan su uso en las diferentes actividades como lo son el consumo humano, recreación, riego, industria y energía [4].

A partir de esto, la contaminación hídrica en Colombia se atribuye en gran medida al manejo inadecuado de las aguas residuales, ya que en su mayoría las aguas provenientes del uso industrial, doméstico y agrícola son depositadas en las fuentes hídricas sin antes ser sometidas a un tratamiento adecuado y dejando a un lado la cantidad de contaminantes que estas contienen como lo son fertilizantes, plaguicidas, materia orgánica, sustancias químicas, entre otros, los cuales traen como consecuencia la degradación de la flora y la fauna, la morbilidad y mortalidad en las poblaciones y el aumento de los costos de la potabilización del agua debido a la carga contaminante presente en esta [4].

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) se presentan 842.000 muertes anuales por la ausencia de consumo de agua para el ser humano con una calidad suficiente, teniendo en cuenta lo anterior la calidad de la fuente de abastecimiento es un aspecto de suma importancia a la hora de identificar problemas de salud dentro de una población. Así mismo el agua es uno de los mayores vectores de transmisión de enfermedades y agentes patógenos, motivo por el cual se hace necesario llevar a cabo un control adecuado de su tratamiento para asegurar la eliminación de cualquier riesgo asociado a su consumo [5].

Es importante resaltar que la mayoría de problemas de salud a causa del consumo de agua no solo se presentan por la contaminación microbiana (virus, protozoos u otros organismos) sino también se atribuye a la contaminación química, en donde los productos químicos presentes en el



agua pueden ser un riesgo inminente sobre la salud humana debido a la exposición a estas [5].

Por tanto, el abastecimiento de agua para uso y consumo humano con calidad adecuada es fundamental para prevenir y evitar la transmisión de enfermedades, para lo cual se requiere establecer límites permisibles en cuanto a sus características bacteriológicas, físicas, organolépticas, químicas y radiactivas, esto con el fin de asegurar y preservar la calidad del agua desde los sistemas de abastecimiento hasta la entrega al consumidor [6].

El desarrollo de este trabajo se llevó a cabo en el municipio de Guatavita ubicado en el departamento de Cundinamarca, este cuenta con gran cantidad de fuentes hídricas lo cual indica que el municipio no presenta problemas de deficiencia en cuanto al recurso, sin embargo estas fuentes se han visto alteradas debido a las actividades económicas y antrópicas que se desarrollan en la zona, por tal motivo se busca evaluar la calidad de las fuentes de abastecimiento del acueducto las cuales corresponden al Río San Francisco y a la Quebrada Corales teniendo en cuenta que estas surten a la población del casco urbano del municipio.

Mediante la recopilación de información a través de la aplicación de encuestas en algunos predios de la zona rural y en el caso urbano, con el objetivo de obtener un panorama económico y social actual del área de estudio. Además se realizaron muestreos en diferentes puntos de las fuentes de abastecimiento para la identificación de características físicas, químicas y microbiológicas para así determinar la calidad del recurso hídrico. Una vez recolectada esta información se realizó el cálculo del Índice de Riesgo de Calidad del Agua (IRCA) para cada uno de los escenarios propuestos y posteriormente elaborar el mapa de riesgo para las fuentes de abastecimiento en donde se logró establecer los puntos críticos sanitarios que pueden tener influencia sobre la morbilidad de la población urbana del municipio de Guatavita.

Finalmente, se establecieron medidas para el manejo de los puntos críticos sanitarios hallados teniendo en cuenta la incidencia de los mismos sobre la población, con el objetivo de reducir los niveles de riesgo a los que esta se encuentra expuesta.



1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

Elaborar el mapa de riesgos de la calidad del agua potable de la Quebrada Corales y el Río San Francisco ubicados en el municipio de Guatavita.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar los puntos críticos sanitarios en cada una de las fuentes de abastecimiento del municipio.
- Evaluar la calidad del agua de las fuentes de abastecimiento del acueducto del municipio de Guatavita.
- Formular medidas para el manejo de los puntos críticos sanitarios encontrados en las fuentes de abastecimiento del municipio.



2. MARCO DE REFERENCIA

2.1. MARCO CONTEXTUAL

2.1.1. Localización

El municipio de Guatavita se localiza en el departamento de Cundinamarca, a una distancia de 75 km de Bogotá D.C. Este municipio limita con Machetá y Sesquilé por el norte, con Gachetá y Junín por el oriente, con Guasca y Sopó por el Sur, y finalmente con Tocancipá y Gachancipá por el occidente como se observa en el Anexo 1.

Se encuentra dividido en 15 veredas como se evidencia en el Anexo 2 entre las cuales se encuentran: Tominé de Blancos, Tominé de Indios, Chaleche, Santa María, Montecillo, Carbonera Alta, Carbonera Baja, El Choche, Potrero Largo, Corales, Guandita, Montequiva, Amoladero, Hatillo y Potreritos.

Este municipio cuenta con una población total de 6.685 habitantes de los cuales 1.771 habitantes se encuentran localizados en el casco urbano y 4.914 se ubican en la zona rural [1]. Actualmente la población urbana se abastece del agua proveniente de la planta de tratamiento de agua potable, la cual tiene como fuente de abastecimiento el Río San Francisco y la Quebrada Corrales en épocas de sequía, las cuales se muestran en las Imágenes 1a y 1b respectivamente.

Imagen 1. Bocatomas municipio de Guatavita

1a. Bocatoma Río San Francisco



1b. Bocatoma Quebrada Corales



Fuente: Los autores



Adicionalmente el municipio se divide en tres zonas geográficas denominadas baja, media y alta; la primera consta de la cabecera municipal y la represa de Tominé teniendo en cuenta sus alrededores, la zona media hace referencia al Valle del Río Aves y en la zona alta se encuentran los páramos, los cuales son de gran importancia hídrica.

Teniendo en cuenta lo anterior el mapa de riesgos se realizó para la fuente principal de abastecimiento Río San Francisco con coordenadas geográficas latitud $4^{\circ} 57' 25.7''$ N y longitud $73^{\circ} 44' 56,8''$ W y la fuente de abastecimiento alterna Quebrada Corales con coordenadas geográficas latitud $4^{\circ} 53' 13,5''$ N y longitud $73^{\circ} 48' 9,1''$ W, localizadas en las veredas Carbonera Alta y Corales, las cuales abastecen a la población del casco urbano del municipio de Guatavita.

2.1.2. Características generales del municipio

2.1.2.1. Economía

El municipio de Guatavita tiene como principal actividad económica la agricultura, en donde se destacan los cultivos de papa, maíz, arveja, cebada, habas y legumbres. Otra actividad económica que sobresale en la región es la ganadería, aquí sus habitantes se dedican al cuidado del ganado vacuno, porcino y ovino como se evidencia en la Imagen 2a. Adicionalmente, se desarrollan actividades mineras en las veredas Choche y Santa María; en las veredas Chaleche y Carbonera Baja se ubican las receberas y en la vereda Hatillo las areneras. Por otro lado, en la vereda Corales se encuentra una truchera, la cual es considerada como principal fuente de abastecimiento para el municipio teniendo en cuenta su excelente calidad [7].

Imagen 2. Actividades económicas del municipio de Guatavita

2a. Actividades de ganadería



2b. Actividades agrícolas



Fuente: Los autores

2.1.2.2. Flora

Los predios aledaños a las bocatomas del Río San Francisco y la Quebrada Corales son de gran importancia debido a la variedad de flora que presentan allí. En estos predios se encuentran diferentes especies vegetales como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Especies de flora

Nombre común	Nombre específico	Nombre común	Nombre específico
Agras	Vaccinium meridional	Amargos	Aderatina sp
Angelito	Monochaetum myrtoideum	Borrachero	Brubmancia sanguínea
Cardón	Puya sp	Cardoncillo	Piper sp
Chiribico	Dalea coerulea	Chite	Hypericum sp
Chite fino	Hypericum sp	Chite pequeño	Hypericum sp
Chuque	Vibumum sp	Chusque	Chuscae scandens
Colchón de pobre	Polypodium sp	Cortadera	Cyperus sp
Cucharo	Myrsine dependens	Encenillo	Weinmannie sp
Encenillo acacia	Weinmannie tomentosa	Esparto	Spartium junceum
Espuelo	Berberis sp	Esterilla	Orthrosanthus
Frailejón	Espeletia sp	Frailejón carraco	Espeletia sp
Frailejón liso	Espeletia sp	Frailejón motoso	Espeletia grandiflora
Frailejón plateado	Espeletia argétea	Frailejón platino	Espeletia argétea
Gaque	Clusia multiflora	Granizo	Hedyosmum bonplandianum
Guardarocío	Hypericum juniperinum	Helecho	Pteridium aquilinum
Laurel	Myrica sp	Laurel hojipequeño	Myrica parvifolia
Mano de oso	Oreopanax floribundum	Mora	Bubís bogotensis
Mora de monte	Bubís floribundum	Mortiño	Hesperomeles sp
Palma	Trichipteris tripida	Picante	Drymis granadensis

Pinito	Aragoa sp	Pinito de monte	Aragoa sp
Pino romerón	Retrophyllum rospigliossi	Piojo	Arcytophyllum sp
Quebrollo	Tibouchinamollis	Quinchada	Paepallanthus sp
Rodamonte	Escallonia mirtilloides	Romero	Senecio pulchellus
Romeron	Decussocarpus rospigliossi	Saltón	Bucquetia glutinosa
Siempre viva	Peperomia sp	Siete cueros	Tobouchina urvilleana
Tagua	Gaiadendron tagua	Tinto	Cestrum sp
Toquín	Myrsine quianeensis	Trébol	Trifolium repens
Trompo	Terstroemia meridionalis	Tuno	Miconia sp
Tuno esmeraldo	Miconia squamulosa	Tuno ligustrino	Miconia ligustrina
Tuno rojo	Axinaca macrophylla	Uva	Cavendishia sp
Uva de anís	Cavendishia cordifolia	Uva grande	Macleania rupestre
Uvo	Ficus soatensis	Zarcillejo	Siphocampylus columnae

Fuente: [8]

2.1.2.3. Fauna

La fauna en las zonas de páramo de la región se encuentra relacionada con el tipo de vegetación allí presente, algunas de las especies actuales están en peligro de extinción tanto local como regionalmente teniendo en cuenta la degradación o disminución de su hábitat.

Algunas de las principales especies que se encuentran en la región son aves, tales como las golondrinas, los colibríes y algunas aves rapaces. En las áreas que presentan elevaciones menores de 3.600 metros sobre el nivel del mar se registran algunos anfibios y pequeños reptiles, también se evidencian algunos invertebrados como los insectos [8].

A continuación se detallan algunas de las especies más importantes presentes en la región aledaña a las fuentes de abastecimiento.

➤ **Aves**

Las especies de aves más representativas de la región se mencionan en la Tabla 2.

Tabla 2. Especies de Aves

Nombre común	Nombre científico	Nombre común	Nombre científico
Alondra cornuda	<i>Eremophila alpestris</i>	Atrapa moscas	<i>Tyrannus melancholicus</i>
Azulejo	<i>Tangara migrovivis</i>	Chamón	<i>Molothrus bonariensis</i>
Chulo	<i>Otus choliba</i>	Colibrí	<i>Colibrí curuscans</i>
Colibrí cobrizo	<i>Eriocnemis cupreovertris</i>	Cóndor andino	<i>Vultur gryphus</i>
Copetón	<i>Zonotrichia capens</i>	Cotorra	<i>Hapalopsittaca</i>
Cucarachero	<i>Troglodytes aedon</i>	Gallineta	<i>Nothecercus julius</i>
Gavilán	<i>Pionus tumultuosis</i>	Garza	<i>Egretta garzetta</i>
Golondrina	<i>Streptoprocne zana</i>	Loro	<i>Penélope montagnii</i>
Mirla	<i>Myadetes ralloides</i>	Mochilero	<i>Cacicas sp</i>
Murciélagos	<i>Desmodus rotundu</i>	Paloma	<i>Zenaida auriculata</i>
Pájaro carpintero	<i>Lepidocolaptes alfiri</i>	Pato andino	<i>Oxyura janaicensis</i>
Perico aliamarillo	<i>Pyrrhura calliptera</i>	Perdiz	<i>Alectoris rufa</i>
Torcasa	<i>Columba tasciata</i>	Tingua bogotana	<i>Rallus semiplumbeus</i>

Fuente: [8]

➤ **Mamíferos**

En las zonas de páramo no se encuentra gran variedad de mamíferos, sin embargo las especies más representativas se mencionan en la Tabla 3.

Tabla 3. Especies de Mamíferos

Nombre común	Nombre científico	Nombre común	Nombre científico
Armadillo	<i>Dasyus novemcinctus</i>	Borugo	<i>Agouti taczanovskii</i>
Comadreja	<i>Mustela nivalis</i>	Conejo de monte	<i>Sylvilagus brasiliensis</i>
Curi	<i>Cavia sp</i>	Guache	<i>Nasuella olivácea</i>
Liebre	<i>Lepus capensis</i>	Zorro	<i>Urocyon cinereoargenteus</i>

Fuente: [8]

➤ **Anfibios y reptiles**

Se han evidenciado más de 15 especies de reptiles y 4 especies de serpientes. En relación a los anfibios se encuentran más de 90 especies, algunas de las más representativas se enuncian en la Tabla 4.

Tabla 4. Especies de Anfibios y Reptiles

Nombre común	Nombre científico	Nombre común	Nombre científico
Culebra tierrera	<i>Atractus crassicaudatus</i>	Lagarto collarajo	<i>Stenocercus trachicephalus</i>
Lagarto de páramo	<i>Anadia bogotensis</i>	Rana común	<i>Hyla labialis</i>
Rana de cristal	<i>Centrolene buckleyi</i>	Salamandra	<i>Bolitoglossa adspersa</i>

Fuente: [8]

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Gestión del riesgo de los recursos hídricos

La gestión de los recursos hídricos hace parte del componente de la gestión preventiva de la calidad del agua para consumo. La contaminación química y microbiana del agua es el mayor peligro para la salud pública, por tanto es necesario crear barreras de prevención. Esta gestión debe incluir la evaluación del efecto de los usos de la tierra en la calidad del agua teniendo en cuenta la modificación de la cobertura vegetal, las actividades mineras, la construcción o modificación de vías fluviales, la aplicación de productos químicos (fertilizantes, herbicidas, plaguicidas, entre otros), la densidad ganadera y la aplicación de estiércol, diversas actividades recreativas, el desarrollo urbano y rural y otras actividades humanas potencialmente contaminantes.

Esta gestión puede estar a cargo de los organismos encargados del manejo de las cuencas de captación o de otras entidades que controlan o afectan los recursos hídricos, como las industriales, agropecuarias, entre otras [1].

2.2.2. Calidad del agua

“Es el resultado de comparar las características físicas, químicas y microbiológicas encontradas en el agua, con el contenido de las normas que regulan la materia” [9].

En los últimos años el término de calidad del agua se ha convertido en un término relativo generando controversia entre los expertos en el tema, teniendo en cuenta que los cuerpos de agua básicamente se caracterizan mediante el análisis de tres de sus componentes básicos: hidrología, características fisicoquímicas y la parte biológica. Para realizar un análisis detallado y una evaluación completa de la calidad del agua, se requiere un monitoreo constante en alguno de los tres componentes anteriormente mencionados [2].

A. Parámetros de calidad del agua

La calidad del agua es el factor más importante para la selección de los diferentes procesos que se deben utilizar para la potabilización del agua, se debe tener en cuenta tanto en el agua cruda, es decir el agua que llega a la planta, como en el producto final, agua tratada [9].

➤ Aspectos microbiológicos

La garantía de la inocuidad microbiana del abastecimiento de agua de consumo se basa en la aplicación, desde la cuenca de captación al consumidor, de barreras múltiples para evitar la contaminación del agua de consumo o para reducirla a niveles que no sean perjudiciales para la salud [10].

Los mayores riesgos microbianos son los derivados del consumo de agua contaminada con excrementos humanos o animales. Los excrementos pueden ser fuente de patógenos,

como virus, bacterias, protozoos y helmintos [10].

Los patógenos fecales son los que más preocupan a la hora de fijar metas de protección a la salud relativas a la inocuidad microbiana, estos presentan con frecuencia variaciones repentinas y bruscas de la concentración de patógenos que pueden aumentar considerablemente el riesgo de enfermedades y pueden desencadenar brotes de enfermedades transmitidas por el agua. Además pueden exponerse a la enfermedad numerosas personas antes de que la contaminación microbiana sea detectada, por este motivo es necesario garantizar la inocuidad microbiana del agua de consumo ya que no puede confiarse únicamente en la realización de un análisis del producto final [10].

Aunque el agua puede ser una fuente muy importante de microorganismos infecciosos, muchas de las enfermedades que pueden transmitirse por el agua pueden hacerlo también por otras vías, como el contacto entre personas, las gotículas y aerosoles, y la ingesta de alimentos. En determinadas ocasiones, en ausencia de brotes de origen acuático, estas vías pueden ser más importantes que la transmisión por el agua [10].

➤ Aspectos químicos

El agua, como solvente universal, puede contener cualquier elemento de la tabla periódica. Sin embargo, pocos son los elementos significativos para el tratamiento del agua cruda con fines de consumo o los que tienen efectos en la salud del consumidor [10].

Los riesgos para la salud asociados a los compuestos químicos del agua de consumo son distintos a los asociados a la contaminación microbiana y se deben principalmente a la capacidad de los componentes químicos de producir efectos adversos sobre la salud tras periodos de exposición prolongados. Pocos componentes químicos del agua pueden ocasionar problemas de salud como resultado de una exposición única, excepto en el caso de una contaminación masiva accidental de una fuente de abastecimiento de agua de consumo. Además, la experiencia demuestra que en muchos incidentes de este tipo, aunque no en todos, el agua se hace imbebible, por su gusto, olor o aspectos indeseables [10].

Puede haber numerosos productos químicos en el agua de consumo; sin embargo, solo unos pocos suponen un peligro inmediato para la salud en cualquier circunstancia determinada [10].

➤ Aspectos físicos

Las características físicas del agua, llamadas así porque pueden impresionar a los sentidos (vista, olfato, entre otros) tienen directa incidencia sobre las condiciones estéticas y de aceptabilidad del agua. Entre estas se destacan la turbiedad, sólidos solubles e insolubles, color, olor y sabor, temperatura y pH [10].

En la provisión del recurso hídrico se debe tener especial cuidado con los sabores, olores, colores y la turbidez del agua que se brinda, en parte porque dan mal sabor, pero también a



causa de su uso en la elaboración de bebidas, preparación de alimentos y fabricación de textiles [10].

Los olores y los sabores se deben a la presencia de sustancias químicas volátiles y a la materia orgánica en descomposición. Las mediciones del mismo se realizan en base a la dilución necesaria para reducirlos a un nivel apenas detectable por observación humana. En términos prácticos, la falta de olor puede ser un indicio indirecto de la ausencia de contaminantes, tales como los compuestos fenólicos. Por otra parte, la presencia de olor a sulfuro de hidrógeno puede indicar una acción séptica de compuestos orgánicos en el agua [10].

Las sustancias generadoras de olor y sabor en aguas crudas pueden ser compuestos orgánicos derivados de la actividad de microorganismos y algas o provenir de descargas de desechos industriales, el agua puede considerarse cuatro sabores básicos: ácido, salado, dulce y amargo [10].

El color del agua se debe a la presencia de minerales como hierro y manganeso, materia orgánica y residuos coloridos de las industrias además de considerar la presencia de taninos, lignina, ácidos húmicos, ácidos grasos y fúlvicos. Esta característica puede estar ligada a la turbiedad o presentarse independientemente de ella, aún no ha sido posible establecer las estructuras químicas fundamentales de las especies responsables del color [10].

La turbidez es originada por las partículas en suspensión o coloides (arcillas, limo, tierra finamente dividida), esta es causada por las partículas que forman los sistemas coloidales, es decir aquellas que por su tamaño se encuentran suspendidas y reducen la transparencia del agua [10].

La turbidez además de que es objetable desde el punto de vista estético, puede contener agentes patógenos, adheridos a las partículas en suspensión. El agua con suficientes partículas de arcilla en suspensión (10 unidades de turbidez), se aprecia a simple vista. Las mediciones de turbidez se basan en las propiedades ópticas de la suspensión que causan que la luz se disperse o se absorba, estos resultados se comparan luego con los que se obtienen de una suspensión estándar, además se puede realizar mediante un turbidímetro o nefelómetro, las unidades más utilizadas son las nefelométricas de turbiedad (UNT) [10].

Últimamente, ha cobrado importancia la presencia de fibras de asbesto desprendidas de los accesorios de asbesto y cemento de los sistemas de distribución como un factor causante de turbiedad en las aguas de consumo humano [10].

Aunque no se conocen los efectos directos de la turbiedad sobre la salud, está afectada la calidad estética del agua, lo que muchas veces ocasiona el rechazo de los consumidores. Por otra parte, algunos de los estudios elaborados han demostrado que en el proceso de eliminación de los organismos patógenos, por la acción de agentes químicos como el cloro, las partículas causantes de la turbiedad reducen la eficiencia del proceso y protegen



físicamente a los microorganismos del contacto directo con el desinfectante. Por esta razón, si bien las normas de calidad establecen un criterio para turbiedad en la fuente de abastecimiento, esta debe mantenerse mínima para garantizar la eficacia del proceso de desinfección [11].

La temperatura es uno de los parámetros físicos más importantes en el agua, pues por lo general influye en el retardo o aceleración de la actividad biológica, la absorción de oxígeno, la precipitación de compuestos, la formación de depósitos, la desinfección y los procesos de mezcla, floculación, sedimentación y filtración. Múltiples factores, principalmente ambientales, pueden hacer que la temperatura del agua varíe continuamente [10].

El pH influye en algunos fenómenos que ocurren en el agua, como la corrosión y las incrustaciones en las redes de la distribución. Aunque podría decirse que no tiene efectos directos sobre la salud, sí puede influir en los procesos de tratamiento del agua, como la coagulación y la desinfección [10].

B. Calidad del agua cruda

El agua cruda contiene diferentes sustancias que se pueden encontrar en solución o en suspensión, dependiendo del medio en el que se encuentra y de su origen. Las características del agua son diferentes en cada cuenca [12].

Adicionalmente, la calidad del agua cruda se define a partir de características físicas, químicas y microbiológicas. Dentro de las características físicas, se encuentra la turbiedad, color, olor y temperatura; en las químicas, el potencial de hidrógeno, acidez, alcalinidad, dureza, nitrógeno, sulfatos, entre otros; y en las microbiológicas, microorganismos patógenos [12].

C. Agua potable o agua para consumo humano

“Es aquella que por cumplir las características físicas, químicas y microbiológicas, es apta para consumo humano. Teniendo en cuenta que el acceso al agua potable es indispensable para conservar la salud de la población en una región determinada y se debe garantizar que este recurso sea suficiente para satisfacer todas las necesidades que demanda dicha población” [6].

El agua de consumo humano, no ocasiona ningún riesgo significativo para la salud cuando se consume durante toda una vida, teniendo en cuenta las diferentes vulnerabilidades que pueden presentar las personas en las distintas etapas de su vida. Sin embargo las personas que presentan mayor riesgo de contraer enfermedades transmitidas por el agua son los lactantes y los niños de corta edad, las personas debilitadas o que viven en condiciones antihigiénicas y los ancianos [1].



2.2.3. Agua y salud

La transmisión de enfermedades como el cólera, la disentería, la hepatitis A, la fiebre tifoidea y la poliomielitis dentro de una población se encuentran íntimamente relacionadas con el agua contaminada y el saneamiento deficiente, teniendo en cuenta que estos exponen a la población a riesgos prevenibles para la salud. Una de las enfermedades más asociadas al consumo de alimentos o agua contaminada es la diarrea, ya que cerca de 842.000 personas mueren a causa de esta.

En los lugares donde el agua no es fácilmente accesible, las personas pueden considerar que lavarse las manos no es una prioridad, lo cual aumenta la probabilidad de propagación de las enfermedades.

Así mismo, el manejo inadecuado de las diferentes aguas residuales, bien sea de origen urbano, agrícola o industrial, influye en que el agua que consumen millones de personas tenga una carga contaminante alta [13].

2.2.4. Gestión de riesgos en agua y saneamiento

Los servicios de agua y saneamiento se pueden ver afectados de manera significativa por actividades antrópicas o de la misma naturaleza, que a su vez generan impactos negativos en la salud pública de las poblaciones. Por tal razón es de suma importancia garantizar la calidad y continuidad del servicio de agua potable y saneamiento, teniendo en cuenta la necesidad de desarrollar procesos óptimos de coordinación, planificación y organización que estén orientados a la reducción del riesgo.

A pesar que el sector de agua y saneamiento ha ido evolucionando con el tiempo, incorporando planes de gestión en cuanto a emergencias y desastres, se ha visto la necesidad de implementar acciones de gestión del riesgo relacionadas a las condiciones decadentes del agua, saneamiento e higiene que afecten la prestación de los servicios [14].

2.2.5. Funciones y responsabilidades en la gestión de la seguridad del agua de consumo

La gestión preventiva es el mejor sistema para garantizar la seguridad del agua de consumo y debe tener en cuenta las características del sistema de abastecimiento de agua, desde la cuenca de captación y la fuente hasta su utilización por los consumidores. Dado que muchos aspectos de la gestión de la calidad del agua de consumo no suelen ser responsabilidad directa del proveedor del agua, es fundamental adoptar un sistema de colaboración entre los múltiples organismos que tienen responsabilidades en aspectos específicos del ciclo del agua, para garantizar su participación en la gestión de la calidad del agua [1].



2.2.6. Vigilancia y calidad del agua de consumo

La vigilancia de la calidad del agua de consumo se define como *“la evaluación y examen, de forma continua y vigilante, desde el punto de vista de la salud pública de la inocuidad y aceptabilidad de los sistemas de abastecimiento de agua de consumo”* [1].

La vigilancia se considera como una actividad de investigación que se lleva a cabo con el fin de identificar y evaluar los posibles riesgos sobre la salud en relación al consumo de agua. Esta vigilancia aporta a la protección de la salud pública fomentando la mejora de los indicadores de servicio del abastecimiento de agua para consumo, los cuales corresponden a la calidad, cantidad, accesibilidad, cobertura y continuidad [1].

Se ha comprobado la eficacia para proteger la salud pública de un sistema dual en el que se diferencian las funciones y responsabilidades de los proveedores de servicios de las de una autoridad responsable de la supervisión independiente para proteger la salud pública [1].

2.2.7. Mapa de riesgo de calidad del agua

El mapa de riesgo es el instrumento que permite definir las acciones de inspección, vigilancia y control del riesgo asociado a las condiciones de calidad de las cuencas que abastecen el suministro de agua para consumo humano, se debe tener en cuenta que las características físicas, químicas y microbiológicas del agua de las fuentes hídricas de una determinada región, pueden generar riesgos graves a la salud humana si no son adecuadamente tratadas, resaltando que la contaminación puede ser ocasionada por eventos naturales y antrópicos, por esta razón este instrumento es de suma importancia al momento de determinar si una población puede estar expuesta a algún tipo de riesgo asociado al consumo de agua [9].

Este nuevo instrumento permite contar con una herramienta de análisis para la adopción de medidas de preparación y mitigación por el conocimiento de los riesgos y amenazas a las cuales se encuentra expuesta una población. Todas estas actividades se encuentran enmarcadas por la Resolución 4716 de 2010 teniendo en cuenta que esta tiene como objeto la reglamentación para la elaboración, implementación y actualización de los mapas de riesgo en todo el territorio nacional [9].

A partir de esta Resolución se establece que las direcciones departamentales de salud deben elaborar los mapas de riesgo de los municipios que se encuentran dentro de la categorías 4, 5 y 6, mientras que las direcciones distritales y municipales deberán realizar los mapas de riesgo de agua potable para los municipios que se encuentran entre las categorías 1, 2 y 3 [9].

2.3. MARCO LEGAL

Colombia está regida por una normatividad específica para el uso y tratamiento del agua para consumo humano, en donde se controlan las características de calidad de la misma las cuales establecen si es apta para consumo, incluyendo los límites permisibles de algunas características físicas, químicas y microbiológicas. En la Tabla 5 se observa la normatividad aplicable al agua para consumo humano.

Tabla 5. Normatividad

Normatividad	Temática	Descripción
Ley 9 de 1979	Código Nacional Sanitario	Establece las medidas sanitarias incluyendo las normas generales que servirán de bases necesarias para preservar, restaurar y mejorar las condiciones sanitarias en los que se relaciona con la salud humana y los procedimientos y las medidas que se deben tener en cuenta para la regulación, legalización y control de los descargos de residuos y materiales que afectan o pueden afectar las condiciones sanitarias del Ambiente [15].
Ley 142 de 1994	Régimen de los servicios públicos domiciliarios	Esta Ley aplica a los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado, entre otras y todas las actividades que realicen las personas prestadoras de estos servicios dentro de los municipios [16].
Decreto 1575 de 2007	Sistema de Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano	Establece el sistema para la protección y control de la calidad del agua, con el fin de monitorear, prevenir y controlar los riesgos para la salud humana causados por su consumo, exceptuando el agua envasada. Aplica a todas las personas prestadoras que suministren o distribuyan agua para consumo humano, ya sea cruda o tratada, en todo el territorio nacional, independientemente del uso [9].
Resolución 2115 de 2007	Sistema de Control y Vigilancia para la Calidad del Agua para Consumo Humano	Establece las características, instrumentos básicos y frecuencia del Sistema de Control y Vigilancia para la Calidad del Agua para Consumo Humano [17].
Resolución 4716 de 2010	Elaboración de mapas de riesgos	Establece las condiciones, recursos, y obligaciones mínimas que deben cumplir las Autoridades Sanitarias Departamentales, Distritales, y Municipales y Ambiental competente para la elaboración de los mapas de riesgo de la calidad del agua para consumo humano [18].

3. METODOLOGÍA

El desarrollo del mapa de riesgos para las fuentes que abastecen a la población urbana del municipio de Guatavita se llevó a cabo bajo el marco normativo vigente del Decreto 1575 de 2007, en donde se reglamenta el Sistema de Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano; la Resolución 4716 de 2010 la cual relaciona las condiciones, recursos y obligaciones para la elaboración de mapas de riesgos y finalmente la Resolución 2115 de 2007, en donde se establecen los parámetros de calidad del agua para consumo humano.

3.1. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

El proyecto inició con una recopilación de la información necesaria para su desarrollo. En primera instancia se realizó una solicitud de información a las entidades municipales, en donde se incluyó la descripción general del municipio, cartografía, censos prediales, el esquema de ordenamiento territorial (EOT) y los estudios ambientales realizados en la zona. Adicionalmente se realizó una solicitud a la empresa de servicios públicos del municipio (EMSER) con el objetivo de obtener información acerca del acueducto con el que cuenta el mismo. Esta información fue complementada con fuentes secundarias tales como bases de datos, revistas y artículos relacionados con la elaboración de mapas de riesgo de calidad del agua potable en diferentes municipios, además de considerar documentación acerca de la calidad de las fuentes de abastecimiento, contaminación hídrica y compuestos químicos presentes en los cuerpos de agua.

Por otra parte se tuvo en cuenta información proporcionada por el Centro de Salud de Guatavita para los años 2015, 2016 y 2017 acerca del motivo de consulta de los pacientes que acudían a este centro con el fin de establecer si algunos de los compuestos presentes en las muestras de agua están relacionados con el tipo de enfermedades que se presentan en la población del municipio.

3.2. RECONOCIMIENTO DE LA ZONA OBJETO DE ESTUDIO

Este reconocimiento se desarrolló mediante visitas de inspección, en donde se identificaron las fuentes de abastecimiento del acueducto municipal, entre las cuales se destaca la bocatoma del Río San Francisco, teniendo en cuenta que esta es la fuente principal de abastecimiento para la población del municipio. Además se realizó una revisión a la bocatoma de la Quebrada Corales la cual es utilizada como fuente de abastecimiento alterna en épocas de sequía.

Así mismo se llevó a cabo un recorrido por las zonas aledañas a la ubicación de las bocatomas, con el fin de identificar los predios circundantes y las actividades económicas más predominantes allí.



3.3. APLICACIÓN DE ENCUESTAS

Inicialmente se realizó una filtración de la información contenida en la Encuesta Nacional de Salud con el objetivo de extraer las preguntas de mayor pertinencia en relación al contexto de la zona de estudio y a la respectiva temática del desarrollo de este trabajo, para finalmente diseñar un formato de encuesta para ser aplicado en los diferentes predios seleccionados.

La encuesta aplicada en los diferentes predios del casco rural constó de 60 preguntas en las cuales se relacionan aspectos tales como las condiciones del agua y saneamiento básico, actividades económicas realizadas en el predio, cobertura de servicios públicos, uso y seguridad de sustancias químicas y las condiciones de morbilidad de los miembros de la familia; la encuesta diseñada se observa en el Anexo 3.

Adicionalmente, se obtuvo el mapa de los predios ubicados en las veredas Corales y Carbonera Alta, en donde se encuentran localizadas las fuentes de abastecimiento del municipio como se observa en el Anexo 4 y Anexo 5 respectivamente. Esto se realizó con el fin de establecer los predios a los cuales se les aplicaría la encuesta teniendo en cuenta su posible influencia sobre la calidad de las fuentes abastecedoras. Una vez diseñada la encuesta se procedió a aplicarla en cada uno de los predios habitados cerca de las fuentes de abastecimiento; para diligenciar las encuestas se llevaron a cabo visitas a cada uno de estos predios, en donde una de las personas habitantes del predio respondía las preguntas establecidas en los diferentes módulos de la encuesta.

Por otro lado, se aplicaron encuestas en el casco urbano con el fin de obtener información acerca de las condiciones de saneamiento básico y morbilidad dentro de la población que reside allí y relacionarlo con la calidad del agua suministrada en el municipio. Para esto se realizó un muestreo aleatorio estratificado por grupos etarios los cuales se dividieron de la siguiente forma: de 0 a 4 años, de 5 a 14 años, de 15 a 64 años y mayores a 65 años.

Seguido de esto, se calculó el tamaño de la muestra para cada grupo etario mediante la fórmula para el cálculo de la muestra en poblaciones finitas como se muestra en la Ecuación 1, utilizando un nivel de confianza del 90%.

Ecuación 1. Cálculo del tamaño de la muestra para poblaciones finitas

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q}$$

Fuente: [43]

Dónde:

N = Total de la población

Z_{α} = 1,645 al cuadrado (si la seguridad es del 90%)

p = proporción esperada (en este caso 10% = 0,1)

$q = 1 - p$ (en este caso $1 - 0,1 = 0,90$)

d = precisión

Los datos demográficos para cada grupo etario requeridos para calcular la muestra poblacional fueron obtenidos del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) correspondientes a las proyecciones establecidas para el año 2017 en la zona urbana los cuales se registran en la Tabla 6.

Tabla 6. Población del casco urbano por grupo etario del municipio de Guatavita

Grupo etario	Población
0 a 4	180
5 a 14	334
15 a 64	1270
Mayores a 65	157

Fuente: [20]

Se aplicaron 23 encuestas para cada grupo etario, es decir 92 encuestas en todo el casco urbano del municipio para esto se realizó una distribución de este por polígonos como se evidencia en el Anexo 6, y así asegurar una distribución adecuada de las encuestas abarcando el casco urbano.

La encuesta consta de 18 preguntas en donde se recopila información sobre la calidad de agua que es suministrada, el uso de sustancias químicas, y la presencia de síntomas o enfermedades crónicas; el diseño de la encuesta se muestra en el Anexo 7.

3.4. DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DE LAS FUENTES DE ABASTECIMIENTO

Para determinar la calidad de las fuentes de abastecimiento del municipio de Guatavita se realizó inicialmente la identificación de los parámetros físicoquímicos y microbiológicos establecidos en la normativa, posterior a esto se desarrolló la batimetría en cada una de ellas para la selección de los puntos de muestreo y llevar a cabo la toma de muestras para finalmente ser analizadas en el laboratorio.

3.4.1. Identificación de los parámetros físicoquímicos y microbiológicos de las fuentes de abastecimiento

Se identificaron los diferentes parámetros de calidad del agua establecidos en la Resolución 2115 del 2007, con el fin de analizarlos en las muestras tomadas en cada una de las fuentes de abastecimiento, teniendo en cuenta aspectos físicoquímicos y microbiológicos. A partir de esto se desarrolló una comparación con los límites

permisibles para cada uno de los parámetros que se contemplan en esta Resolución. Los parámetros que fueron analizados en cada una de las muestras recolectadas junto con sus valores permisibles se observan en la Tabla 7.

Tabla 7. Valores permisibles de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para agua de consumo humano

Parámetro	Valor máximo permisible	Unidades	Parámetro	Valor máximo permisible	Unidades
pH	6.5-9.0	-	Cadmio	0.003	mg/L
Cianuro libre y dissociable	0.05	mg/L	Cobre	1.0	mg/L
Cromo Total	0.05	mg/L	Níquel	0.02	mg/L
Plomo	0.01	mg/L	Carbono Orgánico Total (COT)	5.0	mg/L
Nitritos	0.1	mg/L	Nitratos	10	mg/L
Fluoruros	1.0	mg/L	Cloruros	250	mg/L
Alcalinidad Total	200	mg/L	Aluminio	0.2	mg/L
Dureza Total	300	mg/L	Hierro Total	0.3	mg/L
Manganeso	0.1	mg/L	Molibdeno	0.07	mg/L
Sulfatos	250	mg/L	Zinc	3	mg/L
Fosfatos	0.5	mg/L	<i>E.coli</i>	0 UFC/100	cm ³
Coliformes Totales	0 UFC/100	cm ³			

Fuente: [17]

Los parámetros observados en la Tabla 7 dependen de las actividades antrópicas y naturales que se llevan a cabo en la zona de influencia de las fuentes de abastecimiento del municipio y por tanto permiten establecer los posibles efectos de determinadas sustancias sobre la salud de la población del municipio de Guatavita.

3.4.2. Batimetría

La batimetría hace referencia al levantamiento topográfico del relieve de las superficies del terreno que está cubierto por agua, en otras palabras, es la cartografía del fondo de los distintos cuerpos de agua, bien sea ríos, ciénagas, humedales, lagos, entre otros [19].



Esta actividad se realizó en las dos fuentes de abastecimiento del municipio de Guatavita, es decir el Río San Francisco y la Quebrada Corales.

Para llevar a cabo la batimetría en ambas fuentes de abastecimiento se utilizaron elementos como el nivel, la mira, el trípode y el micromolinetete. Inicialmente se tomó la medida del ancho de cada uno de los cuerpos hídricos para así establecer las distancias a las cuales se registraría la vista intermedia; la distancia tomada para cada uno de los puntos fue de 40 cm (0,4 m) para las dos fuentes hídricas, adicionalmente se registró el valor de la elevación o cota a la cual se encontraban los cuerpos de agua. Utilizando el micromolinetete se midió la velocidad del agua en el mismo punto donde se ejecutó la batimetría.

Una vez registrados estos datos se procedió a calcular la vista menos, la vista más y las cotas restantes en cada punto para establecer las coordenadas del eje X y el eje Y y finalmente diseñar el perfil topográfico de las fuentes con el objetivo de calcular el área de la sección transversal y posteriormente el caudal.

3.4.3. Localización de los puntos de muestreo

Los puntos de muestreo se localizaron en las fuentes de abastecimiento, teniendo en cuenta que en cada una se ubicó un punto aguas arriba, aguas abajo y en la bocatoma. Además se determinaron dos puntos de muestreo en la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP), uno en la entrada de la planta y el otro a la salida.

Para la localización de estos puntos se tuvo en cuenta el caudal de cada una de las fuentes obtenido a partir de la realización de la batimetría; además de considerar las actividades económicas predominantes del área de influencia de dichas fuentes, identificando los posibles puntos en donde se puede estar afectando la calidad de este recurso.

3.4.4. Toma de muestras

Se realizó un muestreo simple en cada uno de los puntos que fueron establecidos anteriormente dentro de las fuentes de abastecimiento; las muestras se tomaron en la mitad del área de flujo con el objetivo de que cada una de ellas fueran representativas en relación al área de los cuerpos hídricos. Se recolectó un volumen de un litro de agua en cada una de las muestras teniendo en cuenta los requisitos necesarios para llevar a cabo los análisis de laboratorio; estas fueron almacenadas en un recipiente plástico color ámbar, ya que estos permiten reducir las actividades fotosensibles en algunos componentes de las muestras los cuales estaban debidamente rotulados y sellados, con el objetivo de evitar la alteración de la información tomada en campo, definir la cantidad y el tipo de análisis que se requiere, el tipo de pretratamiento que se le ha realizado, la fecha, hora y localización del muestreo, asegurando la integridad de la muestra desde su recolección hasta obtener los resultados por parte del laboratorio .

Posteriormente estas muestras se depositaron en una nevera con bastante hielo con el fin de garantizar una temperatura adecuada para su preservación y transporte de

acuerdo con lo establecido en el protocolo de muestreo del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), adicionalmente esta se debe ubicar en un lugar con bastante sombra con el objetivo de conservar las características de las muestras teniendo en cuenta que en la mayoría de casos estos requisitos son suficientes para preservar la muestra durante el transporte al laboratorio y durante un período de tiempo relativamente corto antes del análisis [21].

Finalmente estas fueron transportadas al Centro Tecnológico De Ambiente y Desarrollo Sostenible (CTAS) de La Universidad de La Salle en donde se desarrollaron los análisis fisicoquímicos de cada una de las muestras tomadas. Adicionalmente los análisis de los parámetros microbiológicos (*Escherichia Coli* y Coliformes Totales), cadmio y plomo se realizaron en el laboratorio certificado Conoser Ltda para llevar a cabo el contra muestreo.

3.4.5. Análisis de las muestras en el laboratorio

En la Tabla 8 se observan los diferentes métodos utilizados en el laboratorio CTAS de la Universidad de la Salle para la determinación de los parámetros sujetos de análisis anteriormente establecidos.

Tabla 8. Metodologías utilizadas para la medición de los parámetros fisicoquímicos en el CTAS

Parámetro	Unidad	Método	Parámetro	Unidad	Método
Fluoruros	mg/L	KIT Fluoruros	Cloruros	mg/L	KIT Cloruros
Alcalinidad Total	mg/L CaCO ₃	Titulación	Nitritos	mg/L NO ₂	Espectrofotométrico (HACH)
Sulfatos	mg/L SO ₄	Espectrofotométrico (HACH)	Aluminio	mg/L Al	Espectrofotométrico (HACH)
Plomo	mg/L Pb	Espectrofotométrico (HACH)	Níquel	mg/L Ni	Espectrofotométrico (HACH)
Cromo Total	mg/L Cr	Espectrofotométrico (HACH)	Molibdeno	mg/L Mo	Espectrofotométrico (HACH)
Hierro	mg/L Fe	Espectrofotométrico (HACH)	Manganeso	mg/L Mn	Espectrofotométrico (HACH)
Dureza	mg/L CaCO ₃	KIT Dureza	Nitratos	mg/L NO ₃ ⁻	Espectrofotométrico (HACH)
COT	mg/L COT	Espectrofotométrico (HACH)	Sólidos Totales	mg/L	Gravimétrico
DQO	mg O ₂ /L	Espectrofotométrico (HACH)	Fosfatos	mg PO ₄ /L	Espectrofotométrico (HACH)
Zinc	Mg Zn/L	Espectrofotométrico (HACH)	Cadmio	Mg Cd/L	Espectrofotométrico (HACH)
Cianuro	Mg Cn/L	Espectrofotométrico	Cobre	Mg Cu/L	KIT Nanocolor

(HACH)

Fuente: Los autores

Así mismo en la Tabla 9 se evidencian las metodologías utilizadas por el laboratorio Conoser Ltda. para determinar los parámetros de plomo, cadmio, *Escherichia Coli* y coliformes totales.

Tabla 9. Metodologías utilizadas para la medición de los parámetros químicos y microbiológicos en el Laboratorio Conoser Ltda.

<i>Parámetro</i>	<i>Unidades</i>	<i>Método</i>	<i>Parámetro</i>	<i>Unidades</i>	<i>Método</i>
Cadmio	mg Cd/L	Digestión y absorción atómica	<i>E.coli</i>	UFC/100cc	Filtración membrana
Plomo	mg Pb/L	Digestión y absorción atómica	Coliformes Totales	UFC/100cc	Filtración membrana

Fuente: [22]

3.5. CÁLCULO DE LOS ÍNDICES DE RIESGO DE CALIDAD DEL AGUA (IRCA)

El cálculo de cada uno de los índices de riesgo de la calidad del agua se realizó teniendo en cuenta el procedimiento establecido en la Resolución 2115 del 2007. Inicialmente se asigna un puntaje de riesgo a cada una de las características físicas, químicas y microbiológicas medidas, debido al no cumplimiento de los límites permisibles establecidos en la misma resolución como se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10. Puntajes de riesgo

<i>Características</i>	<i>Puntaje de riesgo</i>	<i>Características</i>	<i>Puntaje de riesgo</i>
Color Aparente	6	Dureza Total	1
Turbiedad	15	Sulfatos	1
pH	1.5	Hierro Total	1
Cloro residual	15	Cloruros	1.5

libre			
Alcalinidad Total	1	Nitratos	1
Calcio	1	Nitritos	1
Fosfatos	1	Aluminio	3
Manganeso	1	Fluoruros	3
Molibdeno	1	COT	3
Magnesio	1	Coliformes Totales	15
Zinc	1	Escherichia Coli	25
<i>Sumatoria de puntajes asignados</i>	100		

Fuente: [17]

Una vez asignados los puntajes de riesgo a partir de cada uno de los valores obtenidos de los parámetros fisicoquímicos de las muestras de agua se procede a calcular el IRCA con la Ecuación 2. Se debe tener en cuenta que se realizó el cálculo del IRCA para los parámetros analizados por el CTAS, posteriormente se llevó a cabo otro cálculo del IRCA en donde se excluyeron los parámetros microbiológicos (*E.coli* y coliformes totales), cadmio, plomo y níquel; adicionalmente se calculó un IRCA para el planteamiento de un nuevo escenario en donde se tuvieron en cuenta los parámetros microbiológicos analizados por el Laboratorio Conoser Ltda. junto con los analizados en el laboratorio del CTAS.

Ecuación 2. Cálculo del IRCA

$$IRCA (\%) = \frac{\Sigma (\text{Puntajes de riesgo asignado a las características no aceptables})}{\Sigma (\text{Puntajes de riesgo asignado a todas las características analizadas})} * 100$$

Fuente: [17]

Según el valor obtenido del IRCA se puede establecer el nivel del riesgo, en donde se tiene cero cuando cumple con los valores aceptables para cada una de las características físicas, químicas y microbiológicas contempladas en la Resolución 2115 de 2007 y cien puntos para el más alto riesgo cuando no cumple ninguno de ellos.

3.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS

Una vez obtenidos los resultados de laboratorio del CTAS se procedió a realizar un análisis estadístico para cada uno de los parámetros analizados en las fuentes de abastecimiento. Debido a la insuficiencia de datos recolectados no se logró llevar a cabo ningún método de correlación, por esta razón únicamente se realizó un análisis de estadística descriptiva en donde se determinaron variables como media, moda, mediana, error típico, desviación estándar, varianza de la muestra, rango, valor mínimo y máximo para los diferentes parámetros. Para este procedimiento se hizo uso del programa Excel con ayuda de la herramienta de análisis estadístico.

3.7. REVISIÓN DE LOS REGISTROS INDIVIDUALES DE PRESTACIÓN DE SERVICIOS DE SALUD (RIPS)

Se realizó una revisión de los Registros Individuales de Prestación de Servicios (RIPS) los cuales fueron suministrados por el Centro de Salud del municipio de Guatavita, con el objetivo de identificar y analizar las enfermedades o motivos de consulta más frecuentes dentro del municipio, ya que estos registros proveen datos mínimos y básicos como la identificación del prestador del servicio de salud, el usuario que acude al centro de salud, la prestación del servicio y el motivo que originó la prestación teniendo en cuenta el diagnóstico y la posible causa externa. La base de datos de los RIPS registraron los casos según la atención domiciliaria médica especializada, consulta de control o seguimiento por medicina general y especializada, consulta por primera vez por medicina general y especializada y consulta de urgencias por medicina general.

La revisión de los RIPS fue de suma importancia al momento de relacionar las diferentes enfermedades que presenta la población del municipio con las sustancias encontradas en el agua a partir de los análisis realizados anteriormente, y que podrían tener una influencia significativa sobre la salud y calidad de vida de la población, para esto se realizó un análisis estadístico de la información suministrada.

3.8. ELABORACIÓN DE LOS MAPAS DE RIESGO

Con los análisis de laboratorio realizados, los valores obtenidos del IRCA para cada una de las muestras, la información recolectada en campo mediante las visitas y las encuestas desarrolladas se elaboró el mapa de riesgos teniendo en cuenta los puntos críticos sanitarios previamente identificados en cada uno de los escenarios y que pueden estar modificando la calidad del recurso y a su vez ocasionando problemas de salud sobre la población.

Principalmente se tuvieron en cuenta las actividades que pueden dar origen a los diferentes compuestos encontrados en las fuentes, dentro de las cuales se encuentra la agricultura (uso de fertilizantes), ganadería, quema de residuos sólidos al aire libre y actividad volcánica. A estas se les asignó un valor cuantitativo según la frecuencia en la que se realizaban dichas actividades como se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11. Puntajes de frecuencia de las actividades

Frecuencia	Puntaje
Muy frecuente	4
Frecuente	3
Poco frecuente	2
No se realiza	1

Fuente: Los autores

De igual manera se asignó un valor cuantitativo al IRCA según su clasificación para así establecer una relación con respecto a las actividades económicas desarrolladas en la zona. Estos valores se evidencian en la Tabla 12.

Tabla 12. Puntajes del IRCA

IRCA	Puntaje
Inviabile sanitariamente	4
Alto	3
Medio	2
Bajo	1

Fuente: Los autores

A partir de esto se realiza la multiplicación de los valores cuantitativos asignados según la frecuencia de la actividad económica y el IRCA en cada una de las fuentes, considerando que se tuvieron en cuenta cuatro actividades. Posteriormente se sumaron los puntajes obtenidos para cada una de estas y así obtener un valor de riesgo total. Estos valores se clasificaron de manera cualitativa para establecer el nivel de riesgo, las categorías utilizadas fueron alto, medio y bajo como se registra en la Tabla 13.

Tabla 13. Puntajes de riesgo

Riesgo	Puntaje
Bajo	0-21
Medio	22-43
Alto	44-64

Fuente: Los autores

Una vez obtenido el nivel de riesgo para cada una de las fuentes en los diferentes escenarios, mediante el programa ArcGis se diseñaron los mapas de riesgo para cada una de las fuentes de abastecimiento.

3.9. ELABORACIÓN DE RECOMENDACIONES PARA LOS PUNTOS CRÍTICOS SANITARIOS

Se realizaron algunas recomendaciones para el manejo de los puntos críticos sanitarios que fueron identificados en el mapa de riesgo, las cuales permitirán mejorar o mitigar los



riesgos a los que se encuentra expuesta la población.

3.10. DIAGNÓSTICO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE

Se realizó una visita a la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Guatavita, en donde se detallaron cada uno de los procesos ejecutados allí para la potabilización del agua, con el objetivo de realizar un diagnóstico de las condiciones en las que se encuentra actualmente la planta, teniendo en cuenta la caracterización de las fuentes de abastecimiento que surten al acueducto.

Así mismo se realizaron algunas recomendaciones o mejoras que se podrían implementar en cada uno de los procesos de potabilización llevados a cabo allí con el fin de optimizar el funcionamiento de la misma.

4. REVISIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN SECUNDARIA

4.1. INFORMACIÓN SUMINISTRADA POR EMSER

A partir de la información proporcionada por la Empresa de Servicios Públicos de Guatavita (EMSER) en donde se incluyeron algunos de los reportes emitidos por el Instituto Nacional de Salud sobre los análisis realizados a las muestras mensuales recolectadas en el año 2015 y 2016, se logró determinar que para los meses de Febrero, Mayo, Noviembre y Diciembre del año 2015 estas se encontraban en un nivel de riesgo alto para el consumo humano; así mismo para el año 2016 los meses de Mayo, Junio, Julio y Agosto se encontraban en un nivel de riesgo alto. Estos resultados reflejan un riesgo inminente para la población que se abastece del agua de la planta de tratamiento y por tanto es necesario realizar un control y vigilancia del recurso suministrado.

En la Tabla 14 se puede observar la información más detallada de los valores obtenidos del IRCA en cada uno de los meses para los años 2015 y 2016.

Tabla 14. Valores obtenidos del IRCA para el año 2015 y 2016

Año 2015			Año 2016		
Mes	Valor IRCA	Nivel de riesgo	Mes	Valor IRCA	Nivel de riesgo
Enero	0	<i>Sin riesgo</i>	Enero	0	<i>Sin riesgo</i>
Febrero	39,56	<i>Alto</i>	Febrero	0	<i>Sin riesgo</i>
Marzo	18,63	<i>Medio</i>	Marzo	32,96	<i>Medio</i>
Abril	0	<i>Sin riesgo</i>	Abril	*	*
Mayo	44,72	<i>Alto</i>	Mayo	68,88	<i>Alto</i>
Junio	0	<i>Sin riesgo</i>	Junio	75,77	<i>Alto</i>
Julio	18,63	<i>Medio</i>	Julio	35,79	<i>Alto</i>
Agosto	23,07	<i>Medio</i>	Agosto	48,38	<i>Alto</i>
Septiembre	1,86	<i>Sin riesgo</i>	Septiembre	24,72	<i>Medio</i>
Octubre	16,48	<i>Medio</i>	Octubre	1,93	<i>Sin riesgo</i>
Noviembre	77,63	<i>Alto</i>	Noviembre	1,7	<i>Sin riesgo</i>
Diciembre	44,72	<i>Alto</i>	Diciembre	21,29	<i>Medio</i>



Fuente: [23]

4.2. ESQUEMA DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL (EOT)

De acuerdo a la revisión del EOT del municipio y a partir de las visitas realizadas al lugar de estudio, se evidenció que la actividad más predominante es la agricultura y en menor medida la ganadería. En cuanto al Río San Francisco se identificaron zonas de páramo en la parte alta, sin embargo, en zonas aledañas a la bocatoma y aguas abajo de la misma se desarrollan actividades de agricultura.

Para el caso de la Quebrada Corales, gran parte de los predios ubicados aguas arriba de la bocatoma se encuentran deshabitados, no obstante, existen actividades de agricultura por parte de los habitantes que residen en esta zona; también se evidencio presencia de peces aguas arriba de la bocatoma.

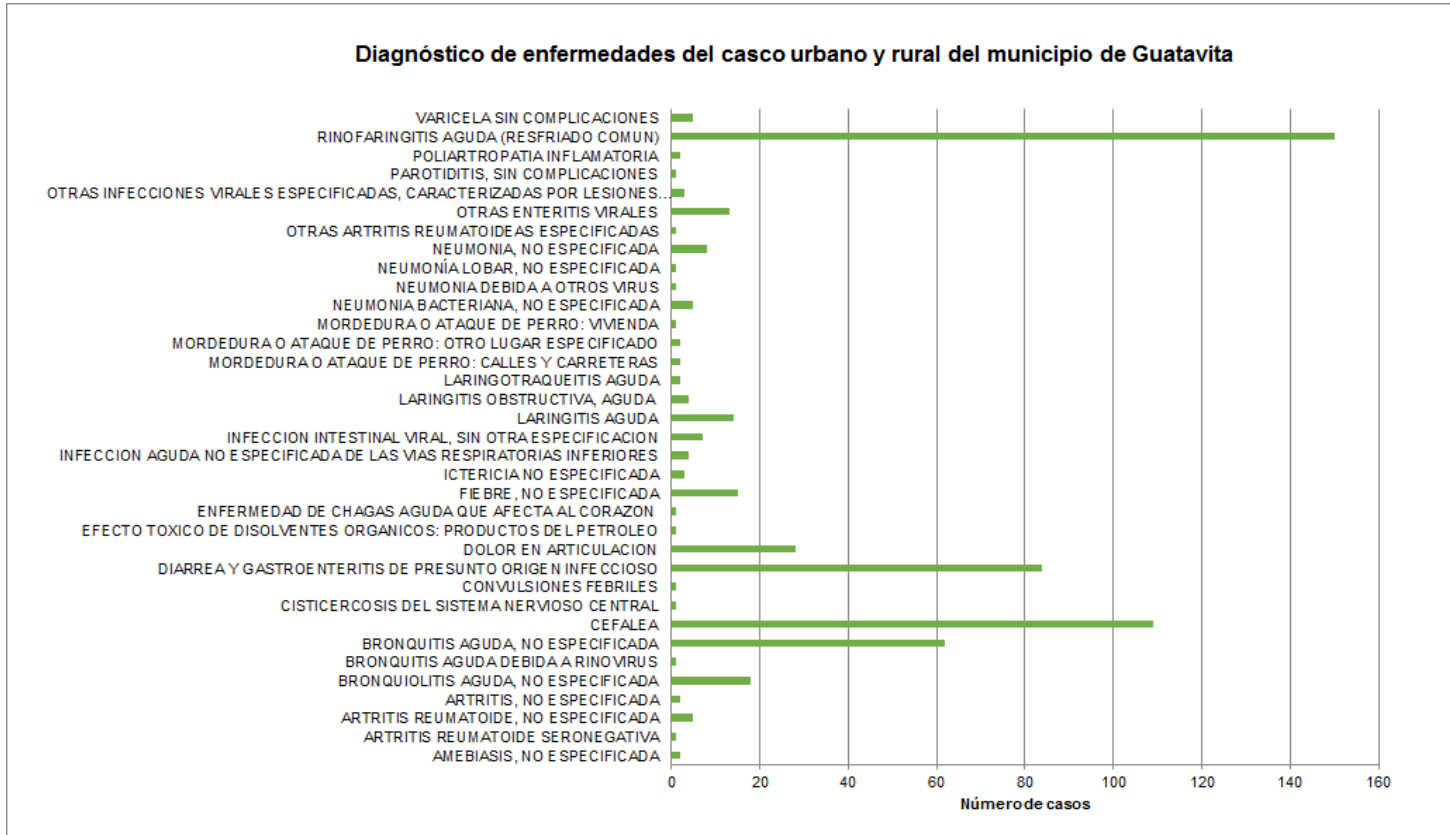
4.3. REVISIÓN DE LOS RIPS

Se realizó la revisión de la base de datos de morbilidad del municipio de Guatavita desde el año 2015 hasta el año 2017 proporcionada por el Centro de Salud, con el objetivo de identificar la enfermedad o diagnóstico más relevante dentro de la población. Esta revisión se llevó a cabo mediante una filtración de los datos a partir de una categorización entre las cuales se seleccionaron la población total del municipio, población urbana, y por grupos etarios (0 a 4 años, 5 a 14 años, 15 a 64 años y mayores de 65 años) en donde se tuvo en cuenta la cantidad de casos por cada uno de los diagnósticos registrados allí.

Los resultados obtenidos a partir de este procedimiento se observan en la Gráfica 1, en donde se evidencian los casos más comunes de asistencia médica dentro de la población urbana y rural del municipio teniendo en cuenta que se registraron 560 casos, estableciendo que el diagnóstico que presenta mayor relevancia es la rinofaringitis aguda (resfriado común) con un total de 150 casos, seguido de cefalea con 109 casos y en tercer lugar la diarrea y gastroenteritis de presunto origen infeccioso.



Gráfica 1. Número de casos por diagnósticos de la población urbana y rural del municipio de Guatavita

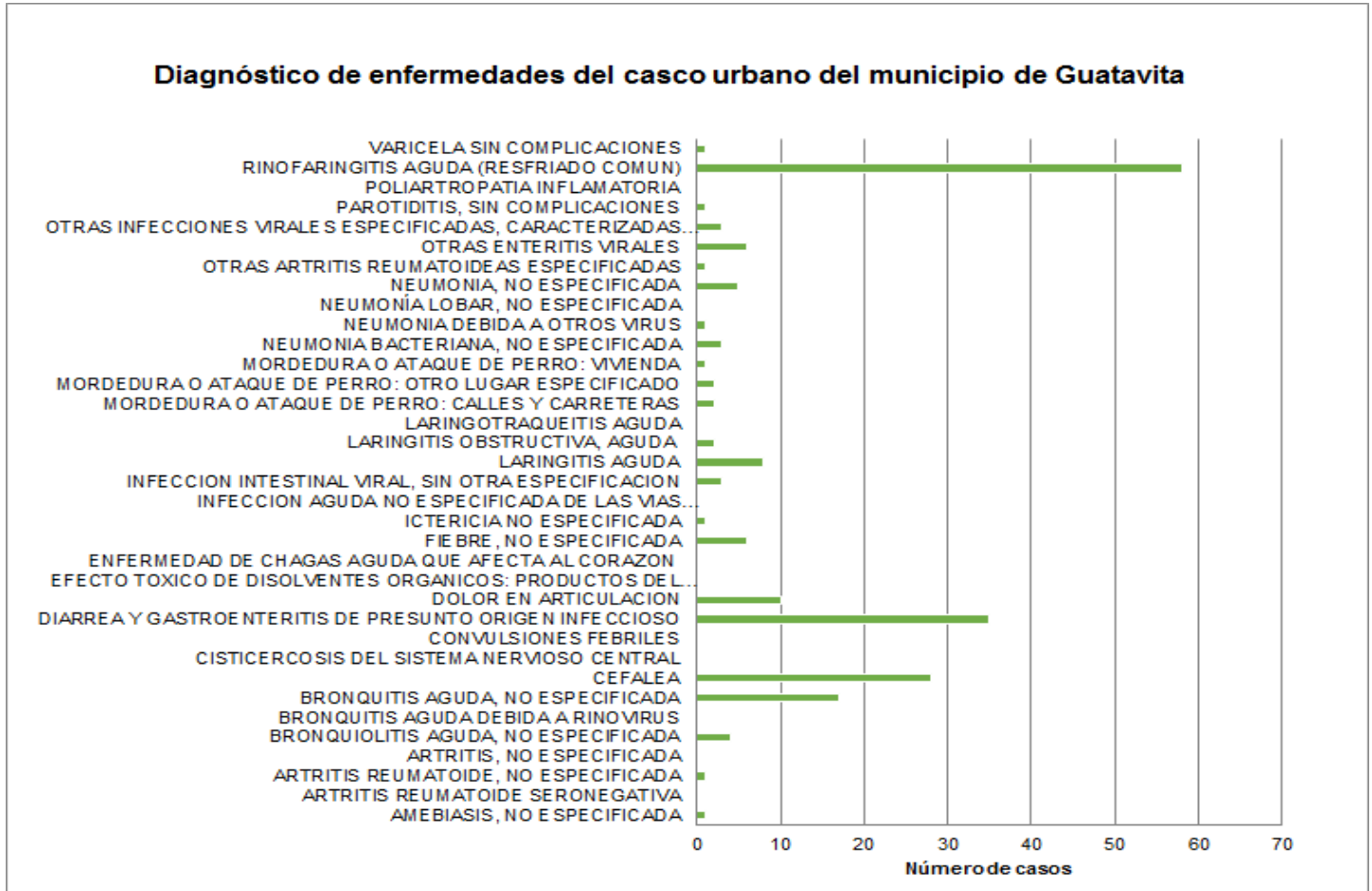


Fuente: Los autores

Adicionalmente se realizó un análisis de los diagnósticos identificados para la población del casco urbano considerando un total de 200 casos, en donde se estableció que el caso de mayor relevancia es la rinofaringitis aguda (resfriado común) con un total de 58 casos, seguido de la diarrea y gastroenteritis de presunto origen infeccioso registrado 35 casos y en tercer lugar se presenta cefalea con 28 casos. Esta información se constata en la Gráfica 2.



Gráfica 2. Número de casos por diagnósticos de la población urbana del municipio de Guatavita

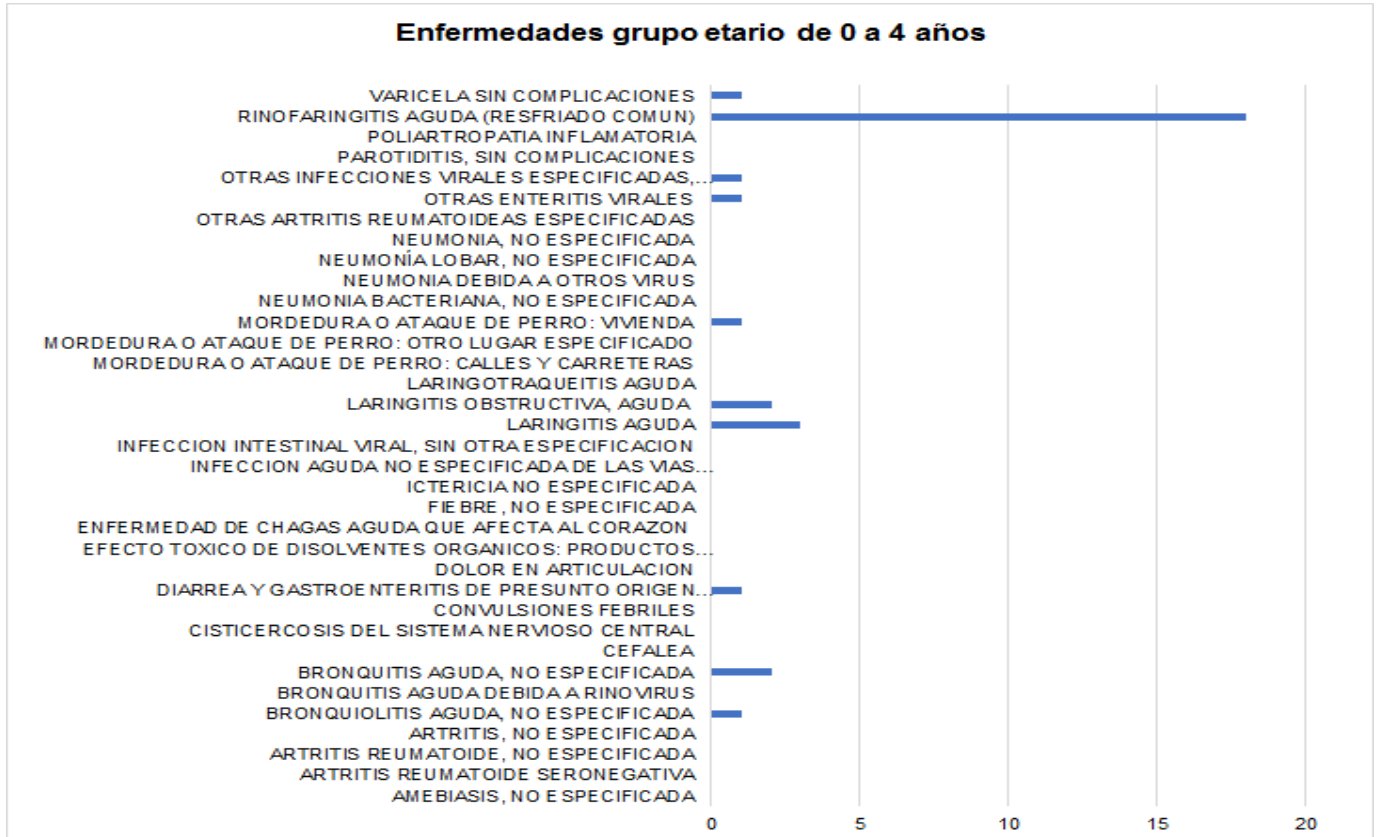


Fuente: Los autores

Teniendo en cuenta la información suministrada en la base de datos, se realizó un análisis de los casos reportados por cada uno de los diagnósticos establecidos para los grupos etarios de 0 a 4 años, 5 a 14 años, 15 a 64 años y mayores de 65 años. La información registrada para el grupo etario de 0 a 4 años se observa en la Gráfica 3, en donde se evidencia que la causa más frecuente de asistencia médica es la rinofaringitis aguda (resfriado común), sobresaliendo con respecto a los otros diagnósticos encontrados. Seguido de este se encuentra la laringitis aguda y la laringitis obstructiva.



Gráfica 3. Número de casos por diagnósticos de la población urbana del municipio de Guatavita para el grupo etario de 0 a 4 años

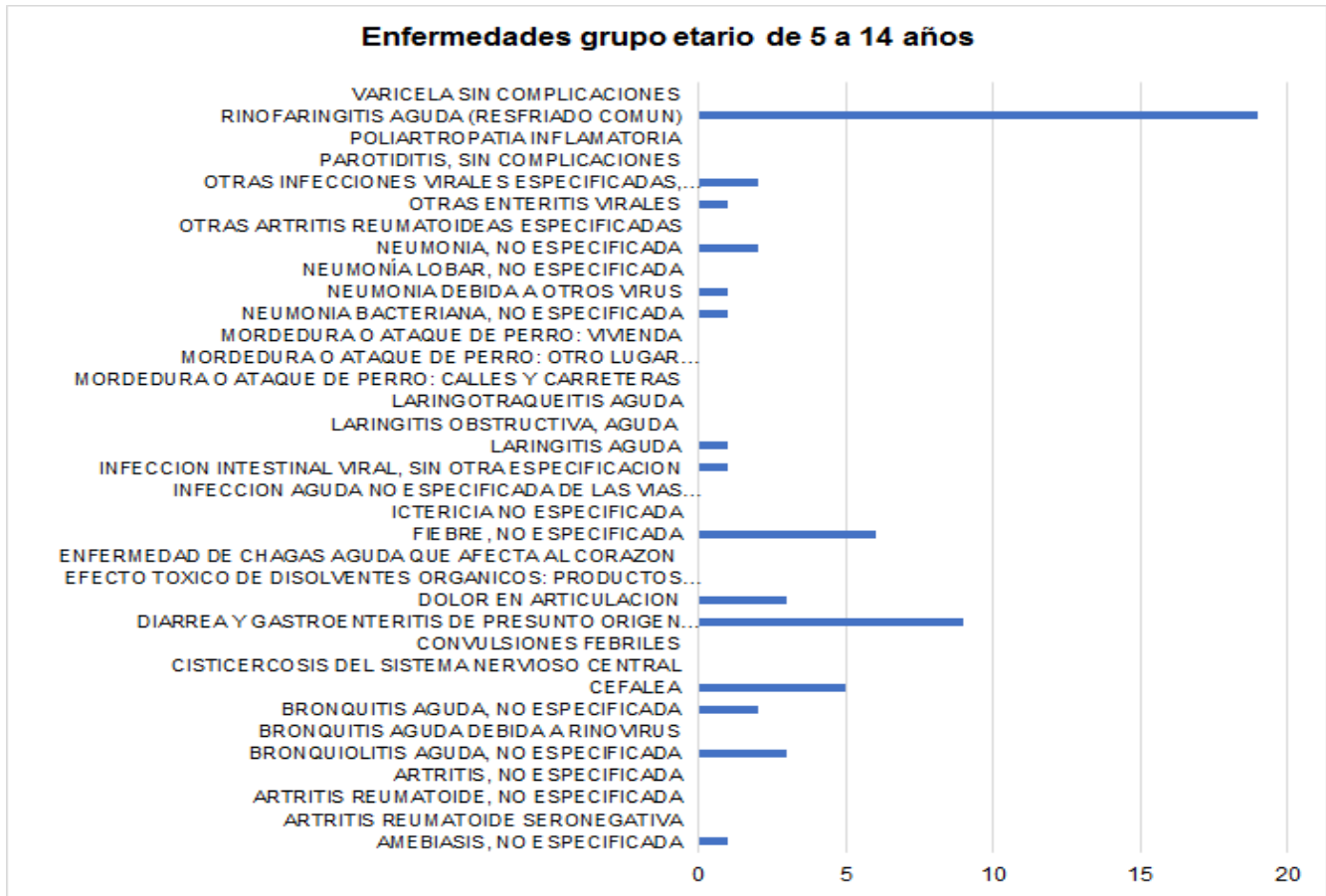


Fuente: Los autores

En el grupo de 5 a 14 años se presenta en gran medida el diagnóstico de diarrea y gastroenteritis de presunto origen infeccioso seguido de la fiebre no especificada, y cefalea evidenciado en la Gráfica 4. Además dentro de este grupo etario se presentan diagnósticos como cefalea, bronquiolitis aguda no especificada, dolor en articulación, neumonía no especificada u otras infecciones virales especificadas en menor proporción. Cabe resaltar que la rinofaringitis aguda es el diagnóstico más frecuente en este grupo etario.



Gráfica 4. Número de casos por diagnósticos de la población urbana del municipio de Guatavita para el grupo etario de 5 a 14 años

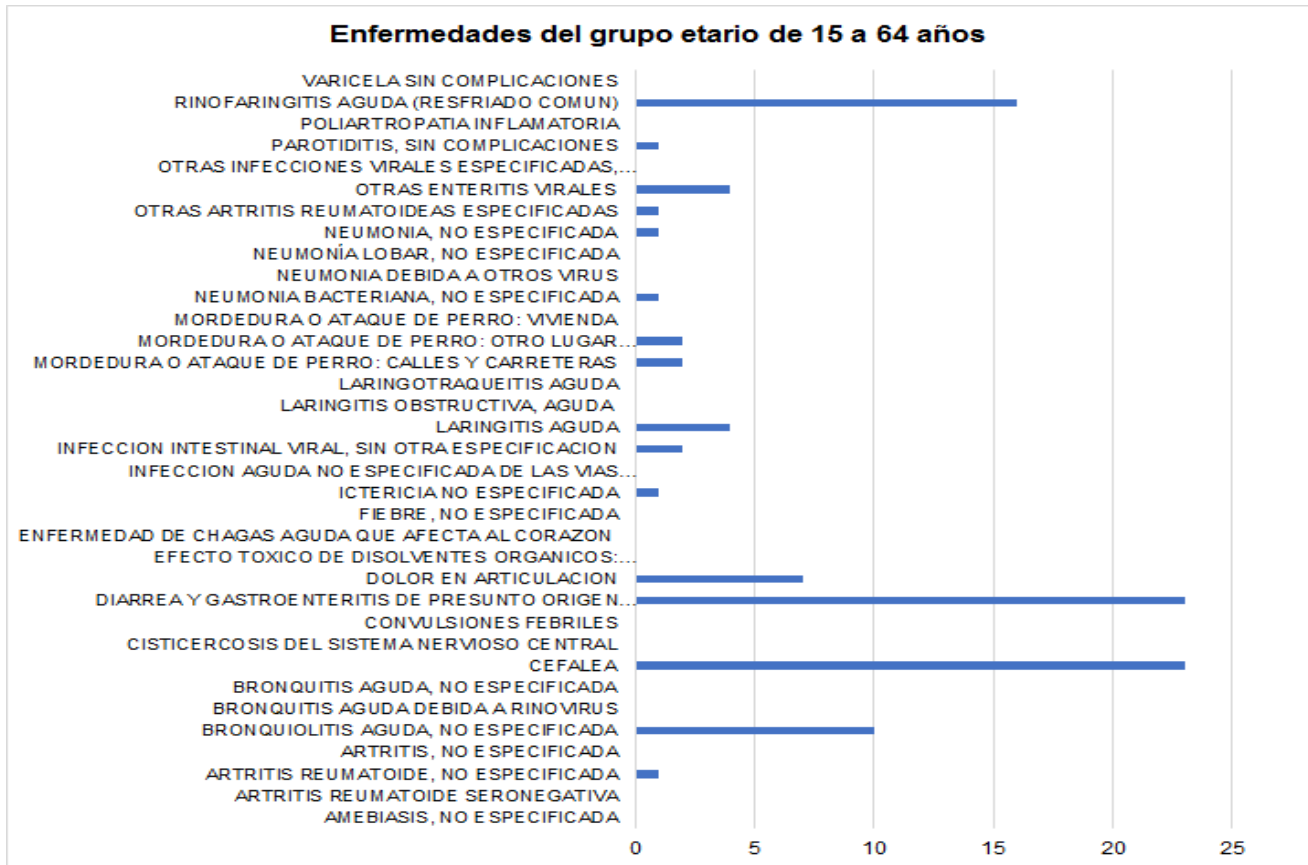


Fuente: Los autores

Para el grupo de 15 a 64 años se presentan con poca frecuencia diagnósticos como dolor en articulación, laringitis aguda, otras enteritis virales, bronquiolitis aguda, entre otros, como se muestra en la Gráfica 5. El diagnóstico de diarrea y gastroenteritis de presunto origen infeccioso, registra el mayor número de casos dentro de la población que pertenece a este grupo etario.



Gráfica 5. Número de casos por diagnósticos de la población urbana del municipio de Guatavita para el grupo etario de 15 a 64 años

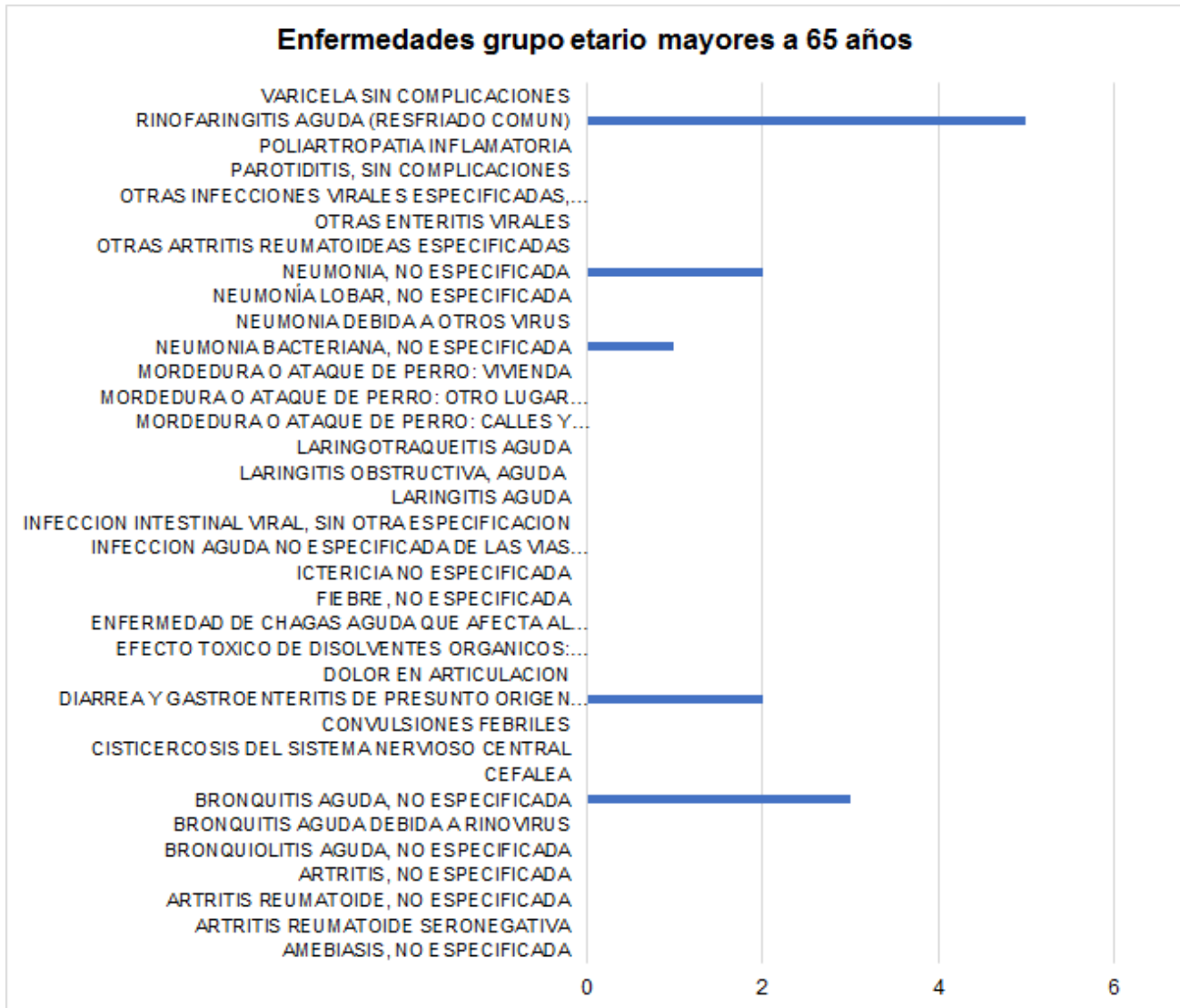


Fuente: Los autores

Por último, en el grupo de mayores de 65 años se registra el mayor número de casos para el diagnóstico de diarrea y gastroenteritis de presunto origen infeccioso, seguido de rinofaringitis aguda que corresponde a un resfriado común; además se presentan diagnósticos en menor medida como laringitis aguda, otras enteritis virales y bronquiolitis aguda, esto se puede apreciar en la Gráfica 6.



Gráfica 6. Número de casos por diagnósticos de la población urbana del municipio de Guatavita para el grupo etario de mayores a 65 años



Fuente: Los autores

De acuerdo a la información anteriormente ilustrada, se puede observar que el diagnóstico más común dentro de la población del casco urbano del municipio es la Rinofaringitis Aguda que corresponde a un resfriado común, para los grupos etarios de 0 a 4 años, 5 a 14 años y mayores de 65 años, seguido del diagnóstico de diarrea y gastroenteritis de presunto origen infeccioso para los grupos etarios de 5 a 14 años y 15 a 64 años, resaltando que en este último grupo este es el diagnóstico con mayor número de casos seguido de cefalea.



5. RESULTADOS

5.1. APLICACIÓN DE ENCUESTAS

Durante las visitas realizadas en campo, se evidenció que gran parte de los predios establecidos previamente para la aplicación de las encuestas se encontraban deshabitados, lo cual indica que allí las actividades económicas no se desarrollan en gran medida. Por este motivo dichos predios fueron descartados y las encuestas se aplicaron en los predios aguas arriba de la bocatoma de la Quebrada Corales y en predios cercanos al Río San Francisco; se seleccionaron dos predios para la Quebrada Corales y uno para el Río San Francisco.

Para la Quebrada Corales se aplicó la encuesta en dos predios localizados aguas arriba de la bocatoma teniendo en cuenta que fueron los únicos que se encontraban habitados y que por tanto se desarrollaba algún tipo de actividad económica; estas encuestas se diligenciaron el día 5 de Mayo de 2017 como se evidencia en el Anexo 8 y Anexo 9.

Como se observa en el Anexo 10, en los predios encuestados la actividad económica predominante es la agricultura y en menor proporción la ganadería, teniendo en cuenta que esta es la fuente principal de ingresos económicos de las familias que habitan allí. Por tal razón se presenta una manipulación continua de productos químicos de uso doméstico y agropecuario como fertilizantes y plaguicidas para el manejo adecuado de los cultivos que se tienen dentro de los predios, sin embargo, la disposición final de los recipientes en donde se almacenan este tipo de sustancias no es el adecuado, además no hay garantía de que la manipulación de estas se realice de manera apropiada y segura cumpliendo con todos los requerimientos convenientes.

Cabe resaltar que la cobertura del servicio que presta el acueducto veredal se encuentra en condiciones óptimas de acuerdo a la información proporcionada, ya que este se presta continuamente durante las 24 horas del día y en cantidad suficiente para satisfacer las necesidades básicas que se presentan dentro del núcleo familiar.

Además se observa que ningún miembro de las familias que residen en los predios encuestados han presentado algún tipo de enfermedad crónica, únicamente se presentan síntomas leves asociados a la gripe, esto indica que el estado de salud es óptimo.

En cuanto al Río San Francisco la información que se obtuvo fue más escasa, ya que los predios ubicados aguas arriba de la bocatoma son zona de páramo, indicando que en esta zona no se realiza actualmente ninguna actividad económica significativa, sin embargo, se logró aplicar la encuesta a uno de los predios aledaños a la bocatoma el día 27 de Junio de 2017 como se observa en el Anexo 11, en donde se llevan a cabo actividades de agricultura, de esta manera se proporcionó información general de algunos de los terrenos circundantes a la fuente de abastecimiento.



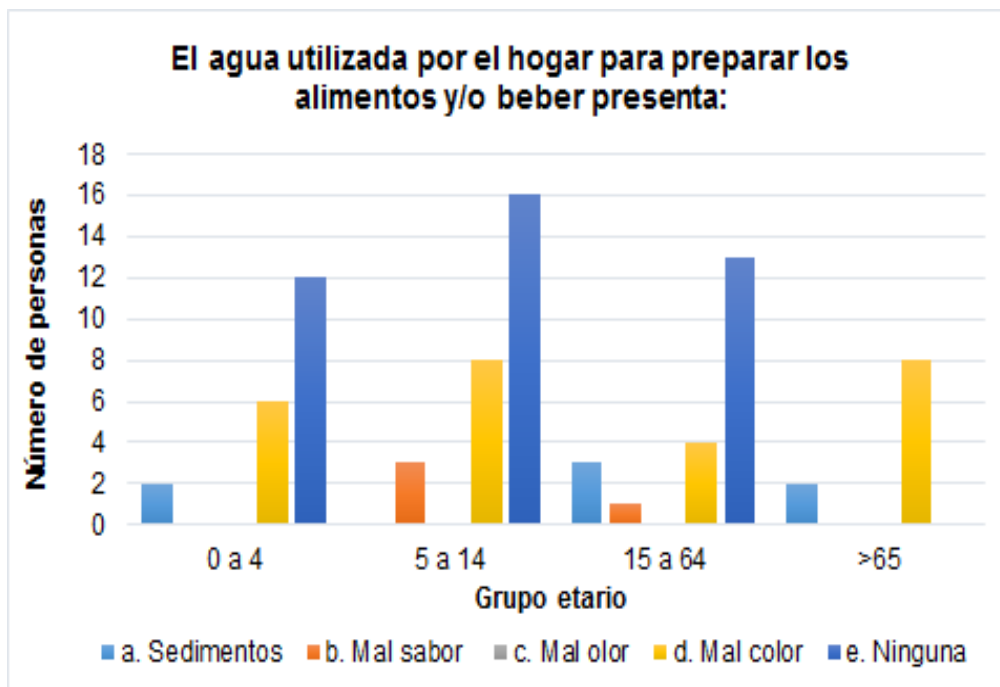
De acuerdo a los resultados de la encuesta registrados en el Anexo 12, se evidencia que la actividad económica predominante en esta zona es la agricultura, de manera que el uso de sustancias químicas como plaguicidas (gramoxone) se realiza continuamente debido a las actividades agrícolas realizadas allí, igualmente se evidencia una elevada generación de residuos provenientes de los envases de almacenamiento de las sustancias químicas a los cuales no se les realiza un procedimiento de disposición final adecuado, sin embargo no se registraron accidentes por la manipulación de estos.

Es importante resaltar que la cobertura del acueducto veredal en esta zona es óptima, ya que el recurso llega continuamente al predio y en cantidad suficiente para satisfacer las necesidades básicas de cada uno de los miembros de la familia que allí reside, del mismo modo aseguran que la calidad del recurso es favorable en cuanto a sus características físicas como olor, color y sabor.

Por otra parte, ninguno de los integrantes de la familia correspondiente a los predios encuestados ha presentado alguna enfermedad grave, como diarrea aguda o presencia de cáncer.

Con respecto a las encuestas aplicadas en el casco urbano para los diferentes grupos etarios se realizó un análisis estadístico para cada una de las preguntas, el cual permitió identificar la información más relevante acerca de la población del casco urbano como se observa en las siguientes gráficas.

Gráfica 7. Resultados de las encuestas aplicadas en el casco urbano, pregunta número siete

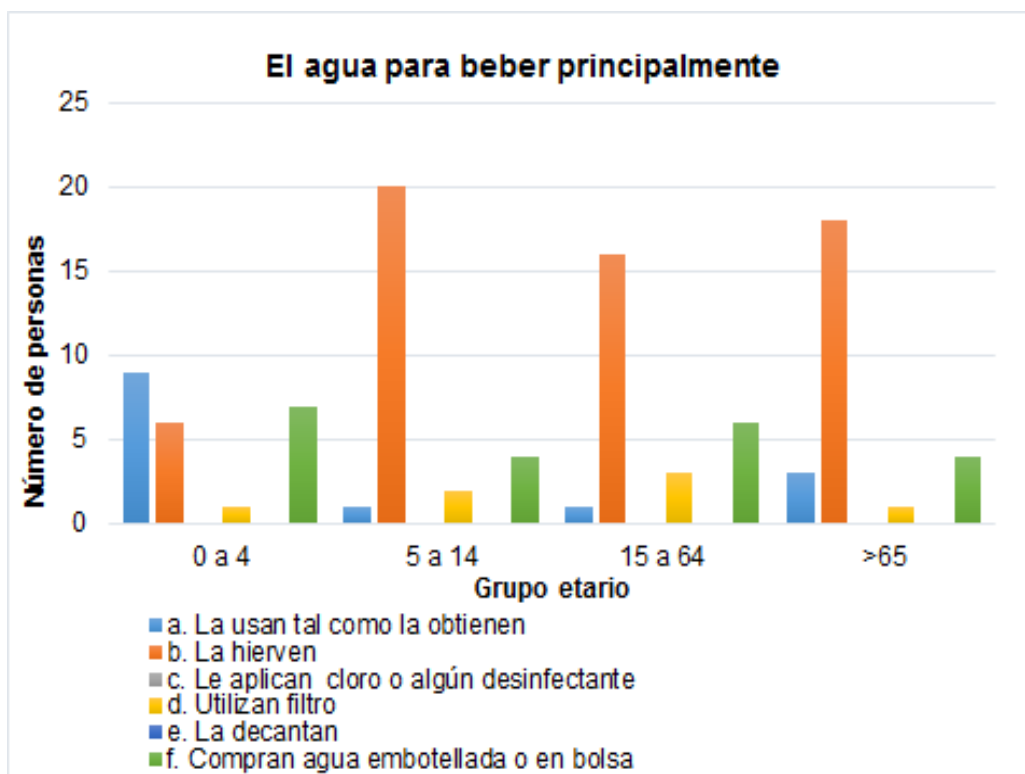


Fuente: Los autores



A partir de estos resultados se evidencia que todas las personas encuestadas en los diferentes grupos etarios se abastecen principalmente del acueducto público; algunas personas afirman que el agua presenta mal color y en pocas ocasiones mal sabor como se observa en la Gráfica 7, sin embargo, la gran mayoría de habitantes aseguran que la calidad del agua que consumen es óptima en cuanto a olor, color y sabor. Así mismo, a pesar de la buena calidad del recurso, los consumidores optan por hervirla antes de ser consumida o comprar agua embotellada para su posterior uso, cabe resaltar que en el grupo etario de 0-4 años se obtuvo como resultado que el agua era consumida tal como se obtenía como se muestra en la Gráfica 8.

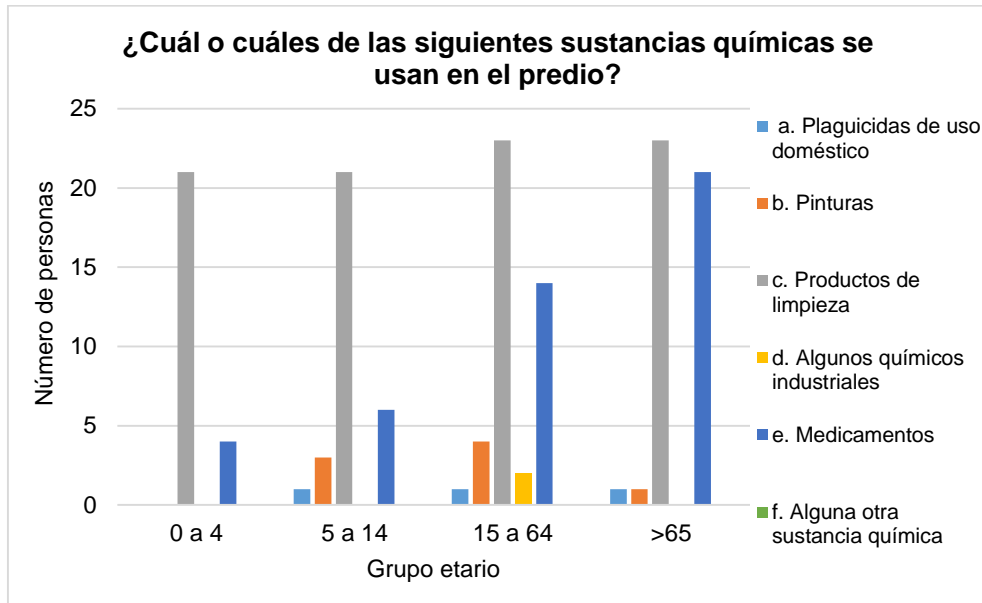
Gráfica 8. Resultados de las encuestas aplicadas en el casco urbano, pregunta número ocho



Fuente: Los autores

En cuanto al apartado de seguridad química, la gran mayoría de la población almacena productos de limpieza (detergentes, jabón, cloro entre otros) y medicamentos, este último siendo de mayor relevancia en el grupo etario de personas mayores a 65 años como se observa en la Gráfica 9.

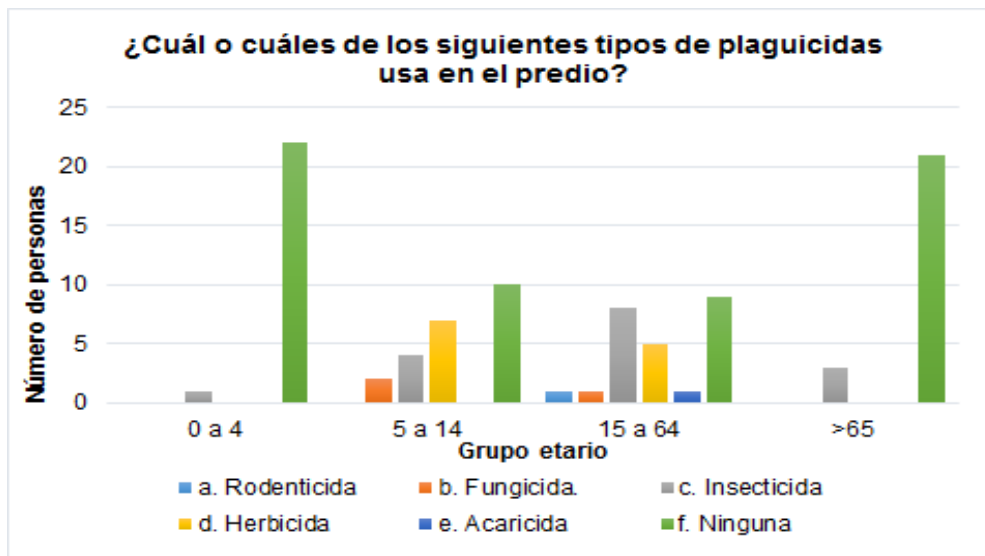
Gráfica 9. Resultados de las encuestas aplicadas en el casco urbano, pregunta número once



Fuente: Los autores

En relación al uso de otras sustancias químicas en la mayoría de hogares no se aplica algún tipo de sustancia para eliminar plagas, sin embargo, muy pocos hogares usan insecticidas y herbicidas para el control de estas, esto se evidencia en la Gráfica 10.

Gráfica 10. Resultados de las encuestas aplicadas en el casco urbano, pregunta número doce

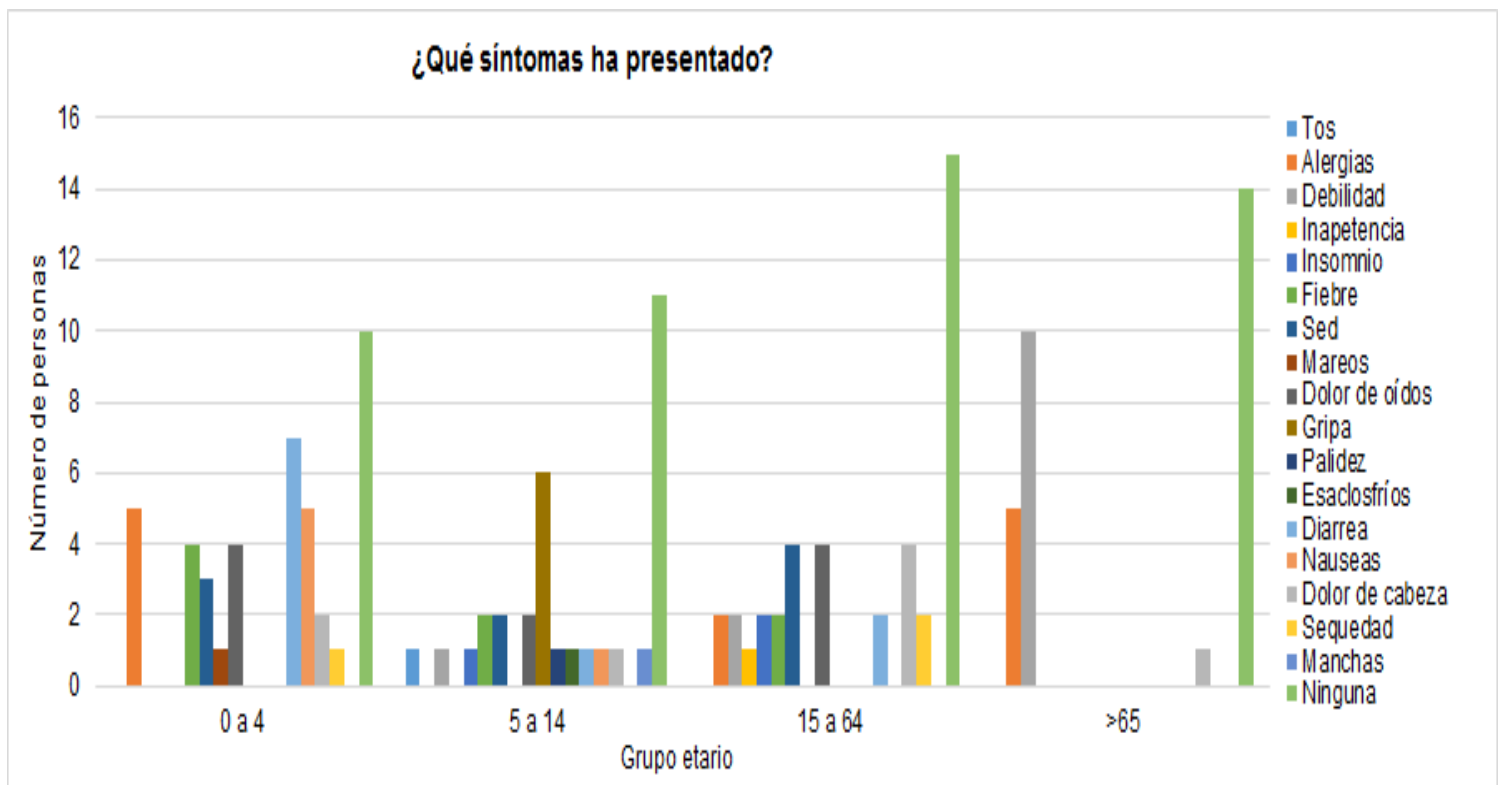


Fuente: Los autores



Con respecto la sintomatología que se ha presentado dentro de la población del casco urbano del municipio se establece que el diagnóstico más frecuente en el grupo etario de 0 a 4 años es fiebre, tos, alergias y náuseas; en el grupo etario de 5 a 14 años el síntoma que más se destaca es la gripe; en el grupo de 15 a 64 años con un cuadro sintomatológico de dolor de cabeza, dolor de oídos y sed y en el grupo de personas mayores a 65 años se registran síntomas como debilidad, alergias y en menor medida dolor de cabeza; esto se muestra en la Gráfica 11.

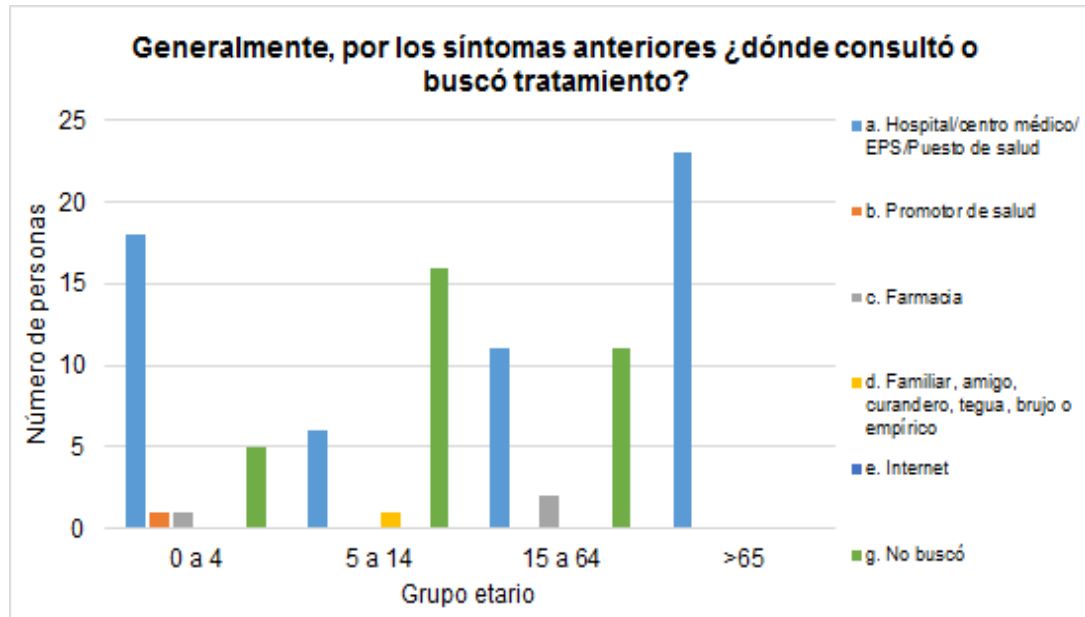
Gráfica 11. Resultados de las encuestas aplicadas en el casco urbano, pregunta número catorce



Fuente: Los autores

Cabe resaltar que dentro de la población no se han presentado episodios de diarrea aguda de gran significancia de acuerdo a la información obtenida, sin embargo, las personas acuden al centro médico del municipio en caso de presentar algunos los síntomas anteriormente mencionados como es evidente en la Gráfica 12. Adicionalmente se estableció que durante los últimos años ninguna de las personas encuestadas de la población del municipio ha presentado algún tipo de cáncer.

Gráfica 12. Resultados de las encuestas aplicadas en el casco urbano, pregunta número quince



Fuente: Los autores

5.2. BATIMETRÍA

La batimetría se llevó a cabo en las dos fuentes de abastecimiento, con el fin de realizar el perfil topográfico de las mismas, de esta manera poder calcular el área de la sección transversal y posteriormente el caudal.

En la Quebrada Corales se realizaron mediciones de la vista intermedia en 11 puntos, considerando que la distancia total de la sección es de 4,40 metros al igual que en el Río San Francisco, teniendo en cuenta que la distancia total de esta fuente es de 4,60 metros por lo cual se realizaron mediciones en 12 puntos distribuidos a lo largo de la sección transversal. Los resultados obtenidos a partir de estos datos se muestran en la Tabla 15.

Tabla 15. Cálculo de las cotas

Quebrada Corales						Rio San Francisco					
Punto	Distancia (m)	V+	Vint	Altura	Cota	Punto	Distancia (m)	V+	Vint	Altura	Cota
BM	0	0,53		2824,5	2824	BM	0	0,48		3017,4	3017
1	0,4		0,49		2824,04	1	0,4		0,6		3016,88
2	0,8		0,4		2824,13	2	0,8		0,59		3016,89

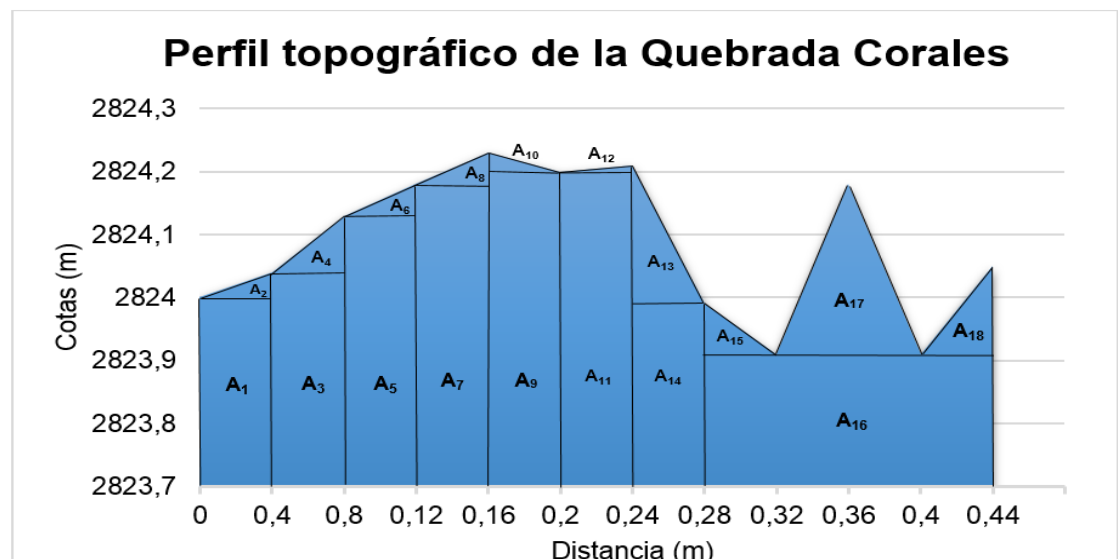


3	0,12		0,35		2824,18	3	0,12		0,66		3016,82
4	0,16		0,3		2824,23	4	0,16		0,95		3016,53
5	0,2		0,33		2824,2	5	0,2		0,81		3016,67
6	0,24		0,32		2824,1	6	0,24		0,78		3016,7
7	0,28		0,54		2823,99	7	0,28		0,68		3016,8
8	0,32		0,62		2823,91	8	0,32		0,61		3016,87
9	0,36		0,35		2824,18	9	0,36		0,41		3017,07
10	0,40		0,62		2823,91	10	0,40		0,31		3017,17
11	0,44		0,48		2824,05	11	0,44		0,12		3017,36
						12	0,46		0,9		3016,58
Longitud Total		4,4 m				Longitud Total		4,6 m			

Fuente: Los autores

A partir de los datos obtenidos anteriormente se realizó el perfil topográfico para la Quebrada Corales y el Río San Francisco como se muestra en la Gráfica 13 y 14 respectivamente. Posteriormente se delimitaron cada una de las partes de la sección transversal, con el fin de calcular el área de las mismas y por consiguiente obtener el área total de la sección para finalmente hallar el caudal.

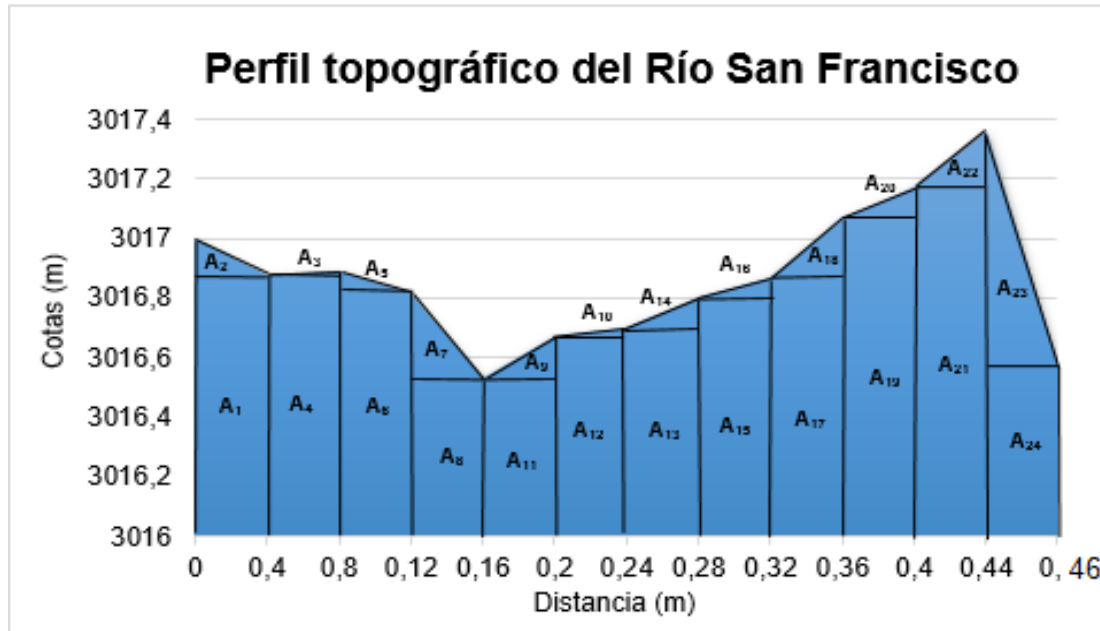
Gráfica 13. Perfil topográfico de la Quebrada Corales



Fuente: Los autores



Gráfica 14. Perfil topográfico del Río San Francisco



Fuente: Los autores

Teniendo en cuenta las áreas delimitadas anteriormente se procede a calcular el valor de cada una de ellas como se observa en la Tabla 16, además de obtener el valor del caudal de la Quebrada Corales correspondiente a $0,5939 \text{ m}^3/\text{s}$ y $2,4416 \text{ m}^3/\text{s}$ para el Río San Francisco.

Tabla 16. Resultados obtenidos a partir del perfil topográfico

Quebrada Corales				Rio San Francisco			
Sección	Área (m ²)	Velocidad (m/s)	Caudal (m ³ /s)	Sección	Área (m ²)	Velocidad (m/s)	Caudal (m ³ /s)
A1	0,12	0,4	0,59392	A1	0,4	0,8	2,4416
A2	0,008	0,4		A2	0,024	0,8	
A3	0,136	0,4		A3	0,002	0,8	
A4	0,018	0,4		A4	0,352	0,8	
A5	0,172	0,4		A5	0,014	0,8	
A6	0,01	0,4		A6	0,328	0,8	
A7	0,192	0,4		A7	0,058	0,8	
A8	0,106	0,4		A8	0,212	0,8	

A9	0,2	0,4		A9	0,028	0,8	
A10	0,006	0,4		A10	0,006	0,8	
A11	0,2	0,4		A11	0,212	0,8	
A12	0,002	0,4		A12	0,268	0,8	
A13	0,044	0,4		A13	0,28	0,8	
A14	0,088	0,4		A14	0,02	0,8	
A15	0,016	0,4		A15	0,32	0,8	
A16	0,128	0,4		A16	0,014	0,8	
A17	0,0108	0,4		A17	0,348	0,8	
A18	0,028	0,4		A18	0,166	0,8	
Área total	1,4848			A19	0,428	0,8	
				A20	0,02	0,8	
				A21	0,468	0,8	
				A22	0,038	0,8	
				A23	0,156	0,8	
				A24	0,116	0,8	
				Área total	3,052		

Fuente: Los autores

5.3. LOCALIZACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO

Una vez realizada la batimetría se seleccionaron los puntos de muestreo en las coordenadas registradas en la Tabla 17. Para esto se tuvo en cuenta un punto aguas arriba, aguas abajo y en la bocatoma de cada una de las fuentes. Adicionalmente se tomaron muestras en la entrada y la salida de la PTAP.

Tabla 17. Localización de los puntos de muestreo

Punto	Localización		Fuente de Abastecimiento
	Longitud	Latitud	
1	73° 44' 54,9" W	4° 57' 22,3" N	Aguas arriba Rio San Francisco

2	73° 44' 58,9" W	4° 57' 25,6" N	Aguas abajo Rio San Francisco
3	73° 44' 56,8" W	4° 57' 25,5" N	Bocatoma Rio San Francisco
4	73° 48' 8,9" W	4° 53' 12,2" N	Aguas arriba Quebrada Corales
5	73° 48' 10,5" W	4° 53' 15,1" N	Aguas abajo Quebrada Corales
6	73° 48' 9,1" W	4° 53' 13,5" N	Bocatoma Quebrada Corales
7	73° 49' 41,49" W	4° 56' 0,84" N	Entrada Planta de tratamiento de Agua Potable
8	73° 49' 42,23" W	4° 56' 1,8" N	Salida Planta de tratamiento de Agua Potable

Fuente: Los autores

5.4. RESULTADOS DE LABORATORIO

Los resultados obtenidos de las muestras analizadas por el Centro Tecnológico De Ambiente y Desarrollo Sostenible (CTAS) de La Universidad de La Salle para cada uno de los parámetros estudiados se registran en el Anexo 13.

Partiendo de los resultados suministrados por el CTAS de la Universidad de la Salle, se realizó un nuevo análisis para evaluar la presencia de plomo y cadmio en los cuerpos de agua. Este proceso se efectuó con ayuda del laboratorio certificado Conoser Ltda, en donde de igual manera se llevó a cabo el análisis de los parámetros microbiológicos de las muestras de agua registrados en el Anexo 14. Los resultados obtenidos por el laboratorio Conoser Ltda. se listan en la Tabla 18.

Tabla 18. Resultados del análisis de laboratorio Conoser Ltda

Parámetro	Unidad	Muestra		
		Bocatoma Quebrada Corales	Bocatoma Rio San Francisco	PTAP
Plomo	mg Pb/L	<0,001	<0,001	<0,001
Cadmio	mg Cd/L	0,002	0,003	0,002
<i>E.Coli</i>	UFC 100/ cc	0	0	0
Coliformes Totales	UFC 100/ cc	0	0	0

Fuente [22]

Además de la recolección de las muestras para su posterior análisis se realizó la medición in situ de algunos parámetros en los puntos de muestreo para las fuentes de abastecimiento, esto se ejecutó con ayuda de una sonda paramétrica. Los resultados obtenidos se constatan en la Tabla 19.

Tabla 19. Valores obtenidos de las mediciones in situ

Punto de muestreo	Parámetros						
	pH	Oxígeno disuelto	Oxígeno disuelto	Conductividad	Sólidos totales disueltos	Turbidez	Temperatura
	% DO	mg/L	$\mu\text{s/cm}$	ppm	FNU	$^{\circ}\text{C}$	
Bocatoma Río San Francisco	7,73	56,1	4,24	5	2	31,3	11,46
Aguas arriba Río San Francisco	6,76	69	5,01	4	2	X	12,15
Aguas abajo Río San Francisco	7,37	69,4	5,21	5	3	X	11,49
Bocatoma Quebrada Corales	8,49	61,2	4,63	23	12	X	12,26
Aguas abajo Quebrada Corales	6,66	71,3	5,27	12	6	X	12,12
Aguas arriba Quebrada Corales	6,5	77,4	5,87	12	6	X	12,04
Entrada PTAP	8,03	63,6	4,31	9	5	X	19,04
Salida PTAP	7,1	67,2	4,52	7	4	X	19,22

Fuente: Los autores

5.5. CÁLCULO DEL IRCA

De acuerdo a la Resolución 2115 del 2007 en la Tabla 20 se detalla el cumplimiento de los parámetros anteriormente analizados en relación a los límites permisibles establecidos allí según los resultados obtenidos por el CTAS. Teniendo en cuenta esta información se establece que los parámetros tales como la alcalinidad total, nitritos, aluminio, plomo, níquel, molibdeno, hierro, manganeso y cadmio, no cumplen con los límites permisibles contemplados en la normatividad.

Tabla 20. Cumplimiento de los límites permisibles de los parámetros analizados por el CTAS

Parámetro	Muestra							
	Aguas arriba Río San Francisco	Bocatoma Río San Francisco	Aguas abajo Río San Francisco	Aguas arriba Quebrada Corales	Bocatoma Quebrada Corales	Aguas abajo Quebrada Corales	Entrada PTAP	Salida PTAP
Fluoruros	Si	No	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Cloruros	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Alcalinidad Total	No	No	Si	Si	Si	Si	No	Si
Nitritos	No	Si	No	No	No	No	No	No
Sulfatos	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Aluminio	No	No	No	No	No	No	No	No
Plomo	No	No	No	No	No	No	No	No
Níquel	No	No	No	No	No	No	No	No
Cromo Total	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Molibdeno	No	No	No	No	No	No	No	No
Hierro	No	No	No	Si	Si	Si	Si	Si
Manganeso	Si	Si	No	No	Si	No	Si	No
Dureza	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Nitratos	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
COT	No	No	Si	Si	No	Si	No	No
Sólidos totales	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
DQO	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Fosfatos	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Zinc	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Cadmio	No	No	No	No	No	No	No	No
Cianuro	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Cobre	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si

Fuente: Los autores

Adicionalmente en la Tabla 21 se observa el cumplimiento de los parámetros de Plomo, Cadmio, *E. coli* y Coliformes Totales de acuerdo a los resultados de los análisis obtenidos del laboratorio Conoser Ltda., teniendo en cuenta los límites permisibles establecidos en la Resolución 2115 de 2007.

Tabla 21. Cumplimiento de los límites permisibles de los parámetros analizados por el laboratorio Conoser Ltda.

Parámetro	Muestra		
	Bocatoma Quebrada Corales	Bocatoma Rio San Francisco	PTAP
Plomo	Si	Si	Si
Cadmio	Si	Si	Si
E.Coli	Si	Si	Si
Coliformes Totales	Si	Si	Si

Fuente: [22]

En cuanto al cumplimiento de la normatividad de los valores obtenidos en los parámetros analizados por el CTAS y lo descrito en el párrafo del artículo 13 de la Resolución 2115 del 2007 el cual establece que: “*Si los resultados de los elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos, contemplados en los artículos 5° y 7° de la presente Resolución, excedan 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*” se estableció que el puntaje para el IRCA en las ocho muestras analizadas es 100 indicando un nivel de riesgo alto, considerando que los parámetros de Aluminio, Plomo, Níquel, Molibdeno y Cadmio no cumplen con los límites permisibles y se encuentran enunciados en los artículo 5 y 7 de esta resolución.

Sin embargo, considerando los resultados obtenidos del análisis de las muestras enviadas al Laboratorio Conoser Ltda se realizó el cálculo del IRCA para los puntos muestreados anteriormente, de acuerdo a lo establecido en la Resolución 2115 de 2007 en relación al procedimiento del cálculo del IRCA para las fuentes de abastecimiento y el IRABA para la PTAP.

Este se realizó teniendo en cuenta los puntajes de riesgo establecidos para cada uno de los parámetros analizados, como se observa en la Tabla 10. Los parámetros utilizados para el realizar el cálculo del IRCA se enlistan en la Tabla 22, además de considerar los valores obtenidos in situ de pH para cada uno de los puntos muestreados:

Tabla 22. Parámetros seleccionados para el cálculo del IRCA

Fluoruros	Sulfatos	Manganeso	Fosfatos
Cloruros	Aluminio	Dureza	Zinc
Alcalinidad Total	Molibdeno	Nitratos	<i>E.coli</i>
Nitritos	Hierro	Carbono Orgánico Total	Coliformes totales

Fuente: Los autores

Para el cálculo del IRCA se tuvieron en cuenta tres escenarios, en donde el primer escenario corresponde al cálculo con todos los parámetros analizados en el CTAS, en el segundo escenario se recalculó el IRCA sin tener en cuenta los parámetros microbiológicos, cadmio, plomo y níquel, y por el último en el tercer escenario se consideraron los resultados obtenidos por el CTAS y por el Laboratorio Conoser Ltda.

Considerando los parámetros enunciados en la Tabla 22 se utilizó la Ecuación 2 para realizar el cálculo del IRCA en los puntos de muestreo para cada uno de los escenarios, los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 23.

Tabla 23. Resultados IRCA para los puntos de muestreo

Punto de muestreo	Valor IRCA Escenario 1	Nivel de riesgo	Valor IRCA Escenario 2	Nivel de riesgo	Valor IRCA Escenario 3	Nivel de riesgo
Aguas arriba Río San Francisco	100%	Inviabile sanitariamente	56,8%	Alto	20,16%	Medio
Bocatoma Río San Francisco	100%	Inviabile sanitariamente	47,72%	Alto	16,93%	Medio
Aguas abajo Río		Inviabile	43,18%			

San Francisco	100%	sanitariamente		Alto	15,32%	Medio
Aguas arriba Quebrada Corales	100%	Inviabile sanitariamente	38,63%	Alto	13,70%	Medio
Aguas abajo Quebrada Corales	100%	Inviabile sanitariamente	45,45%	Alto	16,12%	Medio
Bocatoma Quebrada Corales	100%	Inviabile sanitariamente	36,36%	Alto	12,90%	Bajo

Fuente: Los autores

5.6. MAPAS DE RIESGO

Para el Rio San Francisco se obtuvo un nivel de riesgo alto para el Escenario 1, como se muestra en la Tabla 24, considerando los diferentes aspectos.

Tabla 24. Nivel de riesgo del Escenario 1, Rio San Francisco

Actividad Económica	Puntaje	IRCA	Puntaje	Riesgo
Agricultura	4	Inviabile sanitariamente	4	16
Ganadería	2	Inviabile sanitariamente	4	8
Quema de basura	4	Inviabile sanitariamente	4	16
Actividad volcánica	1	Inviabile sanitariamente	4	4
			Sumatoria	44
				Alto

Fuente: Los autores

En cuanto al Escenario 2 para esta misma fuente, se establece un nivel de riesgo medio como se observa en la Tabla 25.

Tabla 25. Nivel de riesgo del Escenario 2, Rio San Francisco

Actividad Económica	Puntaje	IRCA	Puntaje	Riesgo
Agricultura	4	Alto	3	12
Ganadería	2	Alto	3	6
Quema de basura	4	Alto	3	12
Actividad volcánica	1	Alto	3	3
			Sumatoria	33
				Medio

Fuente: Los autores

En el tercer Escenario, de igual manera se registra un nivel de riesgo medio como se evidencia en la Tabla 26.

Tabla 26. Nivel de riesgo del Escenario 3, Rio San Francisco

Actividad Económica	Puntaje	IRCA	Puntaje	Riesgo
Agricultura	4	Medio	2	8
Ganadería	2	Medio	2	4
Quema de basura	4	Medio	2	8
Actividad volcánica	1	Medio	2	2
			Sumatoria	22
				Medio

Fuente: Los autores

En cuanto a la Quebrada Corales se realizó el mismo procedimiento, para el Escenario 1 se obtuvo un nivel de riesgo medio como se muestra en la Tabla 27.

Tabla 27. Nivel de riesgo del Escenario 1, Quebrada Corales

Actividad Económica	Puntaje	IRCA	Puntaje	Riesgo
Agricultura	3	Inviabile sanitariamente	4	12
Ganadería	2	Inviabile sanitariamente	4	8

Quema de basura	4	Inviabile sanitariamente	4	16
Actividad volcánica	1	Inviabile sanitariamente	4	4
			Sumatoria	40
				Medio

Fuente: Los autores

En el segundo Escenario se sigue presentando un nivel de riesgo medio como se evidencia en la Tabla 28.

Tabla 28. Nivel de riesgo del Escenario 2, Quebrada Corales

Actividad Económica	Puntaje	IRCA	Puntaje	Riesgo
Agricultura	3	Alto	3	9
Ganadería	2	Alto	3	6
Quema de basura	4	Alto	3	12
Actividad volcánica	1	Alto	3	3
			Sumatoria	30
				Medio

Fuente: Los autores

Finalmente para el Escenario 3 se obtuvo un nivel de riesgo bajo como se registra en la Tabla 29.

Tabla 29. Nivel de riesgo del Escenario 3, Quebrada Corales

Actividad Económica	Puntaje	IRCA	Puntaje	Riesgo
Agricultura	3	Medio	2	6
Ganadería	2	Medio	2	4
Quema de basura	4	Medio	2	8
Actividad volcánica	1	Medio	2	2
			Sumatoria	20
				Bajo

Fuente: Los autores



6. DISCUSIÓN

6.1. CALIDAD DEL AGUA DE LAS FUENTES DE ABASTECIMIENTO (RÍO SAN FRANCISCO Y QUEBRADA CORALES)

El Río San Francisco es la principal fuente de abastecimiento para el acueducto municipal que surte al casco urbano del municipio, por tal razón es necesario asegurar la calidad de este recurso para así preservar la salud de los habitantes que hacen uso del mismo. Este acueducto cuenta con una fuente alterna de abastecimiento como lo es la Quebrada Corales, la cual es utilizada en épocas de sequía en las que la fuente principal disminuye su caudal.

Los resultados registrados para los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de cada muestra tomada en las fuentes de abastecimiento se obtuvieron a partir de los análisis realizados por el CTAS. Teniendo en cuenta esto se llevó a cabo una revisión del cumplimiento de los parámetros en relación a los límites máximos permisibles establecidos en la Resolución 2115 de 2007.

De esta forma se evidenció la presencia de compuestos químicos que pueden ocasionar efectos adversos sobre la salud de las personas que se abastecen de este recurso [33], tales como cadmio, plomo, níquel, molibdeno y aluminio, teniendo en cuenta que las concentraciones registradas superan los límites máximos permisibles establecidos en la normatividad. Considerando las concentraciones de los compuestos químicos anteriormente mencionados se realizó un contra muestreo para los parámetros de plomo y cadmio debido a la contaminación, toxicidad y ecotoxicidad que se les atribuye y que por tanto afectan la calidad del agua [33]. Se debe tener en cuenta que este aspecto es fundamental para la disminución de riesgos asociados a la salud de las personas que consumen este recurso, asegurando su inocuidad para proporcionar beneficios a sus consumidores.

A continuación se dan a conocer las condiciones de calidad de las fuentes de abastecimiento del municipio de Guatavita.

Con respecto a los parámetros microbiológicos analizados en las fuentes, se encuentran *E.coli* y coliformes totales, los cuales cumplen satisfactoriamente con lo establecido en la normatividad; de esta manera se puede disminuir la presencia de casos asociados a agentes patógenos fortaleciendo la seguridad y protección del sistema de abastecimiento de agua. Cabe resaltar que el 80% de las enfermedades infecciosas y parasitarias gastrointestinales y una tercera parte de las defunciones causadas por éstas se deben al uso y consumo de agua insalubre [24]. En relación a la revisión de la información encontrada en fuentes secundarias se evidencia que se ha realizado un estudio de la calidad bacteriológica de la zona urbana y rural del municipio de Guatavita, en el cual se establece que la calidad del agua es apta para consumo debido a que no hay presencia de *E.coli* y coliformes totales en los diferentes puntos de muestreo seleccionados para el desarrollo del estudio, dentro de los cuales se encuentra la escuela, la estación de



policía, el hospital, un restaurante y la PTAP. Estos resultados coinciden con los valores obtenidos por el Laboratorio Conoser Ltda. para los mismos parámetros microbiológicos [33].

En cuanto a los parámetros fisicoquímicos analizados en las muestras tomadas aguas arriba, en la bocatoma y aguas abajo en el Río San Francisco y la Quebrada Corales se determinó que cloruros, sulfatos, cromo total, dureza, nitratos, fosfatos, zinc, cianuro, cobre y pH se encuentran dentro del límite máximo permisible establecido en la normatividad de agua para consumo humano.

Por el contrario, en el punto de muestreo de la bocatoma de la fuente del Río San Francisco los fluoruros superan el límite admisible con un valor de 1,8 mg/ Lt, sin embargo en los puntos de aguas abajo y aguas arriba se registran valores por debajo del límite permisible. De igual manera en la Quebrada Corales estas concentraciones cumplen de manera satisfactoria en los tres puntos de muestreo, ya que no supera el límite establecido. Este compuesto se puede incorporar dentro del cuerpo hídrico de forma natural debido a la presencia de rocas ígneas, zonas montañosas y suelos alcalinos [25]; cabe resaltar que los cuerpos hídricos se encuentran ubicados en áreas cercanas a zonas montañosas que pueden incidir sobre la presencia de este compuesto. Adicionalmente la presencia de este compuesto se encuentra relacionado con la presencia de suelos alcalinos.

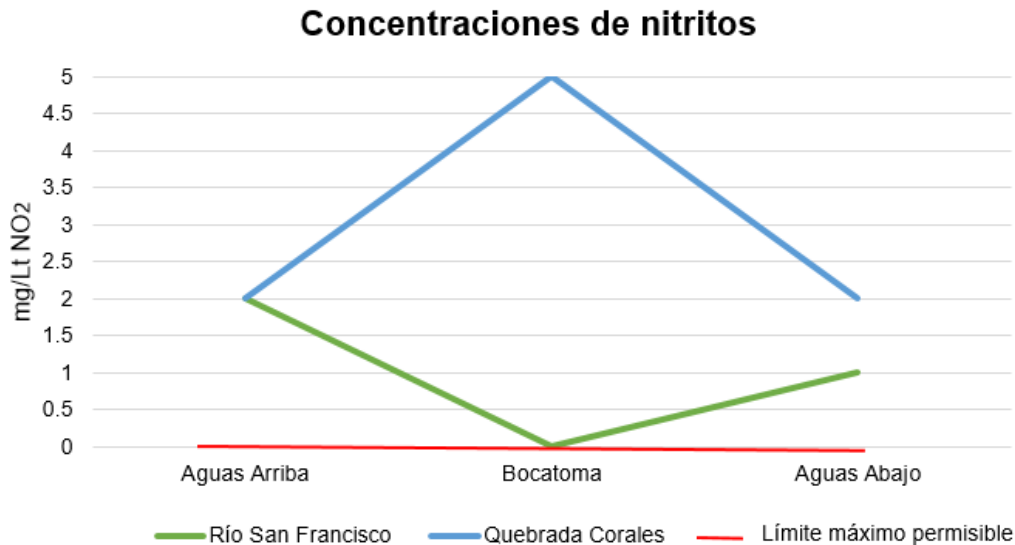
En los puntos de muestreo aguas arriba y en la bocatoma del Río San Francisco (581 mg/ Lt de CaCO_3 y 605 mg/ Lt de CaCO_3) se superan los límites establecidos para la alcalinidad total, por el contrario las muestras analizadas en el punto de aguas abajo de esta fuente y en los puntos muestreados en la Quebrada Corales se registra un cumplimiento en cuanto a su valor máximo permisible. La alcalinidad en aguas superficiales se da primordialmente por la presencia de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos; a pesar de que los niveles elevados de alcalinidad en el agua no generan riesgos en la salud de las personas que la consumen, es necesario supervisar y controlar dicho parámetro en los procesos de tratamiento ya que puede incidir directamente sobre el carácter corrosivo o incrustante del agua, generando efectos en su sabor [10].

Los nitritos en los puntos de muestreo de aguas arriba y aguas abajo del Río San Francisco superan el límite permisible con un valor de 2 mg/ Lt de NO_2 y 1 mg/ Lt de NO_2 respectivamente; de igual forma los valores registrados en los tres puntos de muestreo en la Quebrada Corales con unas concentraciones de 2 mg/ Lt de NO_2 , 5 mg/ Lt de NO_2 y 2 mg/ Lt de NO_2 como se evidencia en la Gráfica 15. Este compuesto se da de forma natural en el agua cuando se registran concentraciones bajas ya que se forman biológicamente por la acción de bacterias nitrificantes, sin embargo, también se pueden generar por medio de la contaminación difusa o dispersa la cual se encuentra estrechamente relacionada con la actividad agrónoma [26], es importante resaltar que cerca de la ubicación de la bocatoma del Río San Francisco existen predios en donde se llevan a cabo actividades de agricultura y por ende se hace uso de productos químicos para el control de plagas en los cultivos y pueden incidir sobre los valores obtenidos, teniendo en cuenta que esta es una de las actividades económicas más predominantes



del municipio.

Gráfica 15. Concentraciones de nitritos



Fuente: Los autores

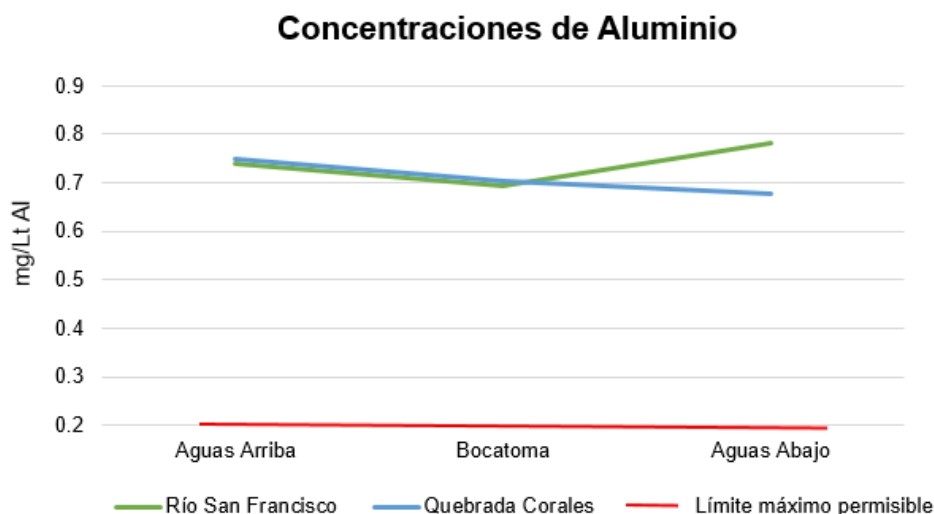
El COT supera los límites permisibles aguas arriba y en la bocatoma del Río San Francisco registrando un valor de 15,2 mg/ Lt COT y 16,2 mg/ Lt COT respectivamente, cabe resaltar que en el punto de la bocatoma de la Quebrada Corales se presenta una superación del límite en un 94%, este parámetro es considerado como un indicador de la materia orgánica presente en el agua debido a la presencia de plantas y animales dentro del cuerpo hídrico partiendo de sus procesos de metabolismo, excreción y descomposición. Es importante mencionar que no existe algún sustento teórico sobre los efectos adversos que se pueden presentar en la salud humana debido a altas concentraciones [27]. También puede ocasionar una disminución importante del oxígeno disuelto, sin embargo los resultados obtenidos de las mediciones in situ en estos puntos de muestreo demuestran valores óptimos que permiten la supervivencia de la biodiversidad acuática presente allí. En relación a lo anterior durante las visitas de inspección realizadas a la Quebrada Corales se observó la presencia de especies acuáticas como peces en la parte alta del cuerpo hídrico.

El manganeso registra valores que superan el límite permisible en el punto de muestreo de aguas abajo del Río San Francisco, del mismo modo en los puntos aguas arriba y aguas abajo de la Quebrada Corales con un valor de 0,8 mg/ Lt Mn y 0,2 mg/ Lt Mn respectivamente; de igual forma ocurre con el parámetro de hierro resaltando que este supera el límite en los tres puntos de muestreo del Río San Francisco mientras que para

la Quebrada Corales los valores registrados no superan el máximo permisible para los tres puntos de muestreo. Estos dos parámetros se encuentran estrechamente relacionados ya que generalmente se presentan simultáneamente en los cuerpos hídricos debido a que son elementos comunes en la superficie de la tierra que se pueden filtrar mediante el suelo y las piedras, sin embargo conllevan problemas de sabor, olor y color en el agua [28], los cuales se relacionan directamente con los resultados obtenidos de las encuestas aplicadas en el casco urbano, en donde gran parte de la población encuestada afirmó que el agua suministrada presenta las características anteriormente mencionadas; por el contrario las personas encuestadas en la zona rural que habitan en zonas aledañas a las fuentes de abastecimiento afirmaron que el agua no presenta ninguna de estas características.

El aluminio supera los límites admisibles establecidos en los tres puntos de muestreo (aguas arriba, bocatoma, aguas abajo) del Río San Francisco y de la Quebrada Corales como se observa en la Gráfica 16. Este es un elemento de gran abundancia en la naturaleza, razón por la cual se presenta de forma natural en los cuerpos de agua debido a la lixiviación del suelo y de las rocas [29], resaltando que en las fuentes de abastecimiento se presentan gran cantidad de estas a lo largo de todo el cuerpo hídrico.

Gráfica 16. Concentraciones de aluminio



Fuente: Los autores

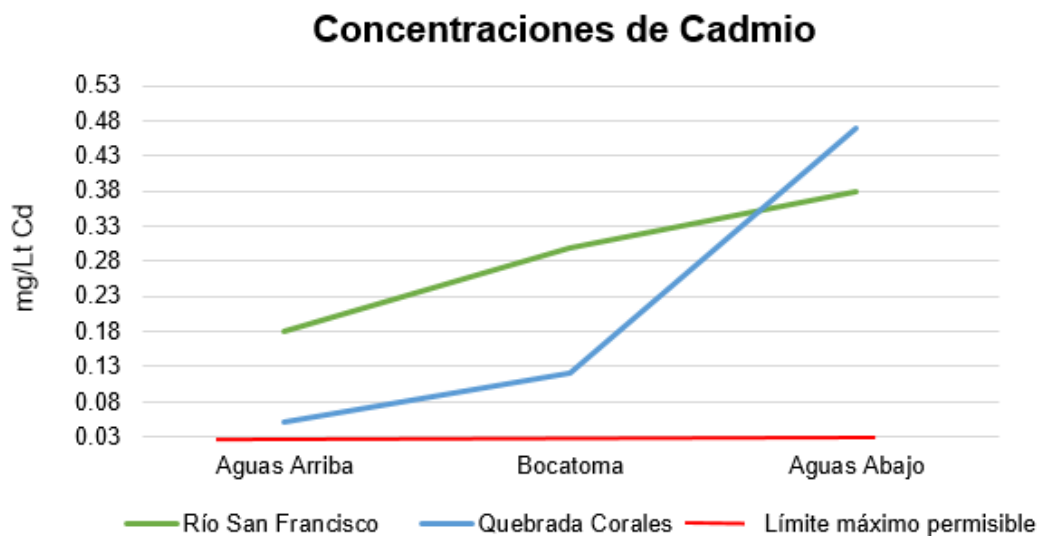
La biodisponibilidad del metal en el agua depende, entre otras cosas, del pH y de las relaciones y equilibrios químicos entre los distintos solutos, como silicatos, citratos, calcio y flúor. Se debe tener en cuenta que cuando el pH se encuentra en el rango entre 6 y 8, las especies químicas del aluminio son altamente reactivas [34]; es importante considerar que los valores obtenidos in situ de pH para los puntos de muestreo en las fuentes de abastecimiento oscilan dentro del rango anteriormente mencionado, indicando una posible incidencia sobre las concentraciones de aluminio encontradas en los cuerpos hídricos. Cabe resaltar el cumplimiento de estos en relación al rango permisible



establecido en la normatividad y su influencia sobre los procesos de tratamiento, tanto en los de agua potable como en los de agua residual. En la potabilización del agua, interviene en la coagulación, floculación, la desinfección, el ablandamiento y el control de corrosión [32].

Uno de los parámetros de suma importancia sanitaria debido a su efecto tóxico es el cadmio, el cual supera el límite permisible en los tres puntos de muestreo para las dos fuentes de abastecimiento de acuerdo a los resultados obtenidos del CTAS como se evidencia en la Gráfica 17, teniendo en cuenta que el límite permisible es de 0,003 mg/ Lt Cd. Sin embargo, en los análisis realizados en el contra muestreo por el Laboratorio Conoser Ltda., las concentraciones se encuentran por debajo del límite.

Gráfica 17. Concentraciones de cadmio obtenidas por el CTAS



Fuente: Los autores

Según la literatura, las altas concentraciones de cadmio en el agua se atribuyen a actividades mineras o industriales y naturalmente al desgaste y erosión de las rocas, sin embargo el Río San Francisco y la Quebrada Corales no se encuentran localizadas cerca a zonas en donde se desarrollen este tipo de actividades, esto indica que existe otra fuente de aporte de este metal ya que este compuesto ingresa a los cuerpos hídricos a partir de la cantidad de cadmio atmosférico el cual representa el 23% de las concentraciones contaminantes, siendo así la principal vía de entrada de cadmio al agua [30].

Otra fuente de descarga de Cadmio al medio ambiente es el uso de fertilizantes fosfatados resaltando que en los cultivos aledaños a la zona de las fuentes no se utilizan este tipo de sustancias químicas para el manejo de plagas.

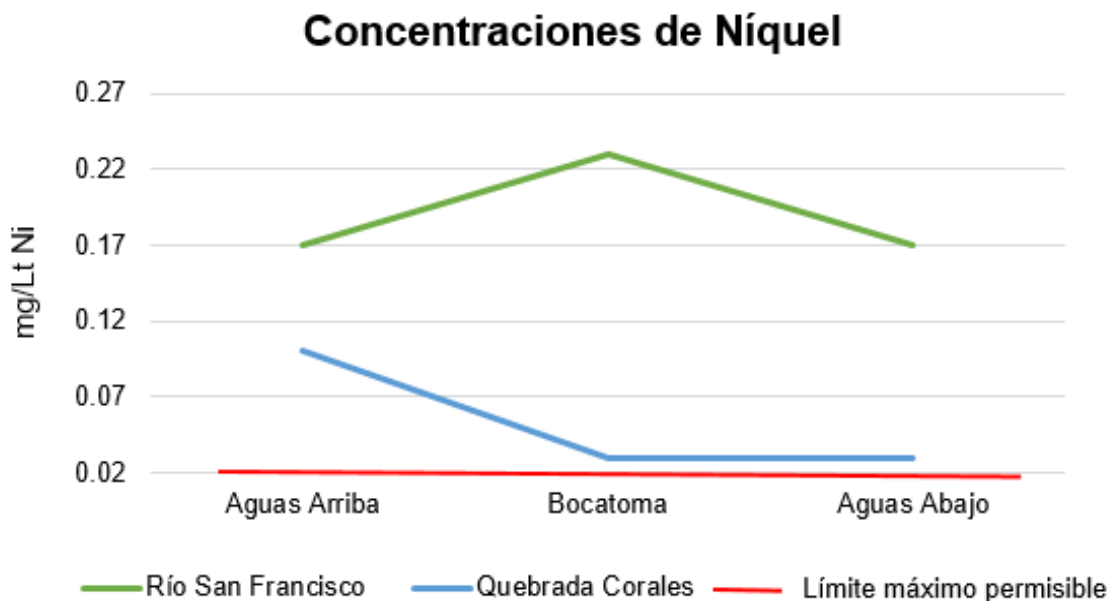
Adicionalmente la quema de la basura doméstica común contribuye a la emisión de partículas de cadmio, la cual es practicada por parte de los habitantes de los predios de



las áreas aledañas a las fuentes ya que en estos sectores no se cuenta con un servicio de recolección de residuos domiciliarios de acuerdo a la información suministrada en las encuestas aplicadas en la zona rural.

El níquel también es otro de los compuestos químicos generado a partir de la quema de residuos, teniendo en cuenta que los resultados obtenidos a partir del análisis de laboratorio sobrepasan el límite máximo permisible en los tres puntos de muestreo de la Quebrada Corales y el Río San Francisco como se observa en la Gráfica 18.

Gráfica 18. Concentraciones de níquel



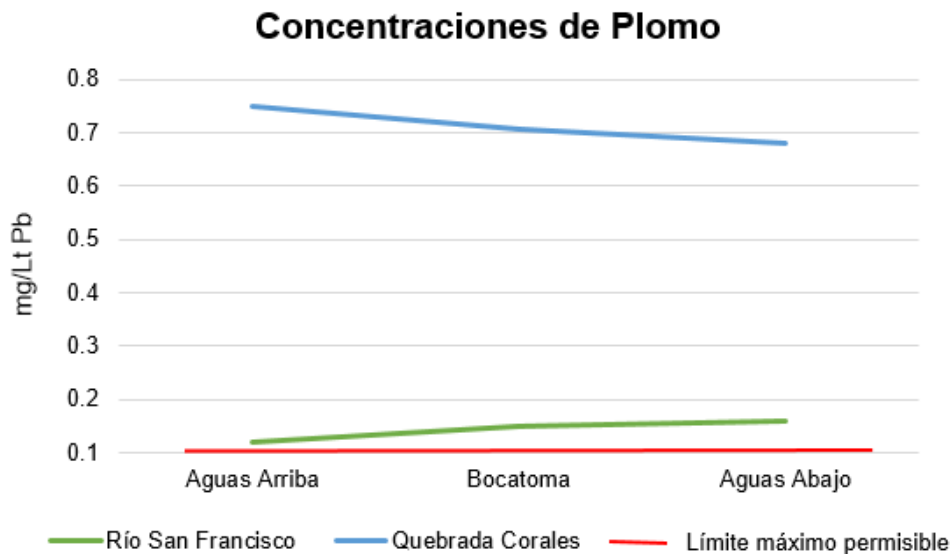
Fuente: Los autores

Este se encuentra en todos los suelos y es liberado por emisiones volcánicas, sin embargo en esta área no se registra actividad volcánica que pueda estar asociada a los niveles elevados de este elemento. Tanto el níquel como sus compuestos derivados poseen una elevada y persistente toxicidad sobre el medio acuático [31].

De acuerdo a la Gráfica 19 se determina que el plomo sobrepasa los niveles máximos permisible en todos los puntos de muestreo de la Quebrada Corales y el Río San Francisco de acuerdo a los resultados suministrados por el CTAS. Por el contrario, los resultados obtenidos del contra muestreo cumplen con el límite estipulado en la norma.



Gráfica 19. Concentraciones de plomo obtenidas por el CTAS



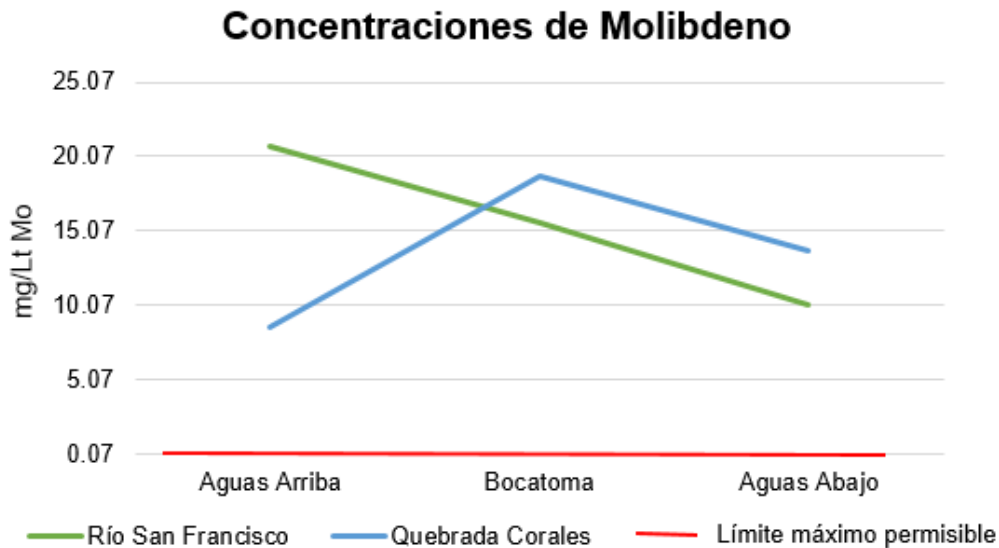
Fuente: Los autores

Este compuesto es de suma importancia debido a su toxicidad aguda y crónica. Tiene como fuentes principales la erosión del suelo, el desgaste de los minerales de plomo y las emanaciones volcánicas, sin embargo en la zona circundante a las bocatomas de las fuentes de abastecimiento no hay presencia de actividad volcánica y no se evidencian problemas de erosión severos. Cabe agregar que en algunos casos se considera que sólo el 48% del plomo emitido a la atmósfera es producto de las fuentes naturales y el resto proviene de las emisiones antropogénicas, este aspecto es de suma importancia ya que el plomo atmosférico llega a depositarse en diversos sustratos como el agua, suelo y vegetación [32].

Las concentraciones de molibdeno registradas en los puntos de muestreo de la Quebrada Corales y el Río San Francisco superan el límite permisible con se evidencia en la Gráfica 20, considerando que el molibdeno puede añadirse a partículas que se asientan al suelo y cuando llueve estas pequeñas partículas de molibdeno en el aire o en la tierra pueden ser arrasadas en el agua superficial y a su vez unirse a los sedimentos presentes allí. Sin embargo aún no se han registrados documentos teóricos acerca de los efectos negativos del molibdeno sobre el medio ambiente.



Gráfica 20. Concentraciones de molibdeno



Fuente: Los autores

A partir de los análisis realizados anteriormente con respecto a la calidad del agua, se evidencia que las condiciones en las que se encuentra la Quebrada Corales son más óptimas que las del Río San Francisco; a pesar que en ambas fuentes se encuentra la presencia de diferentes compuestos que pueden afectar la calidad del agua y por ende generar efectos adversos sobre la salud de la población servida, las concentraciones de estas son menores en la Quebrada Corales.

6.2. EFECTOS DE LOS DIFERENTES COMPUESTOS PRESENTES EN LAS FUENTES DE ABASTECIMIENTO SOBRE LA SALUD DE LA POBLACIÓN

La contaminación del agua es perjudicial para los animales acuáticos y en especial para los seres humanos que la consumen. El inadecuado manejo de los productos químicos puede ocasionar la presencia de grandes concentraciones en el recurso hídrico afectando de manera significativa la salud de la población que tiene acceso a este. De esta manera es necesario asegurar que los servicios de agua y saneamiento sean suficientes y gestionados de manera adecuada para evitar exponer a la población a riesgos para su salud por tal razón es de suma importancia llevar a cabo un análisis de la calidad de agua de las fuentes de abastecimiento que surten a una determinada población [33].

De acuerdo a las concentraciones analizadas en las muestras de agua por el CTAS, se establece que algunos de los compuestos químicos presentes allí pueden generar efectos adversos sobre la salud de las personas, entre los cuales se destacan el plomo, cadmio, níquel y molibdeno, considerando su toxicidad en concentraciones altas. Algunos

elementos intermedios como el arsénico y el aluminio, los cuales son relevantes desde el punto de vista toxicológico, se estudian habitualmente junto a estos metales pesados [33]. Es importante considerar que los efectos de la exposición a cualquier sustancia dependen del tipo de exposición, la concentración de la sustancia y la cantidad del tiempo de la exposición. Los factores adicionales que deben ser considerados son la edad, el género, la dieta, las características familiares, el estilo de vida y la condición de salud [34].

Muchos de estos elementos son micronutrientes necesarios para la vida de los seres vivos y deben ser absorbidos por las raíces de las plantas o formar parte de la dieta de los animales. Pero cuando por motivos naturales o por la acción del hombre se acumulan en los suelos, las aguas o los seres vivos en concentraciones altas se convierten en tóxicos peligrosos [33].

Uno de los compuestos encontrados en las fuentes de abastecimiento son los fluoruros, estos traen consigo efectos beneficiosos y nocivos sobre la salud de las personas; las exposiciones a largo plazo de los seres humanos a los fluoruros pueden tener incidencias sobre los huesos considerándose el efecto más relevante [34]. Este genera una enfermedad denominada fluorosis esquelética la cual es de gran interés para la salud pública, se considera que la ingesta de fluoruros en el agua o en los alimentos es el principal factor causal en la incidencia de la fluorosis esquelética endémica. Esta enfermedad puede producir un aumento en la densidad de los huesos, dolor de las articulaciones, limitar el movimiento de las articulaciones y en casos más graves adquirir una rigidez total sobre la columna vertebral [35].

Los fluoruros pueden ser absorbidos mediante la inhalación, la ingesta y en casos excepcionales por vía dérmica. Cuando este compuesto es ingerido o inhalado es absorbido por la mucosa gástrica o la pulmonar, una vez que está en el estómago reacciona con el ácido clorhídrico y forma ácido cloroflorhídrico, el cual tiene un efecto corrosivo sobre la mucosa gástrica, principalmente cuando se cuenta con una elevada acidez gástrica. Luego de esto se dirige a los distintos tejidos por mecanismos de transporte pasivo, depositándose en la tiroides, aorta, riñones, esqueleto y dientes, siendo estos dos últimos sus depósitos más relevantes [34].

Cabe resaltar que de acuerdo a la información suministrada en los RIPS y en las encuestas realizadas tanto en el casco urbano como en la zona rural no se han presentado problemas esqueléticos o algún otro relacionado con la ingesta de este compuesto químico.

Los nitritos también son de gran interés en la salud teniendo en cuenta que aproximadamente el 5% y el 10% de la ingesta de nitratos es convertida en nitritos por las bacterias de la saliva, estómago e intestino del ser humano; entre el 60% y el 70% de los nitratos son excretados por la orina en las primeras 24 horas como nitritos, amonio o urea y el 25% son excretados por la saliva [36].

Estos compuestos convierten la hemoglobina en la sangre a metamoglobina, reduciendo la cantidad de oxígeno que se transporta en la sangre y por tanto las células no tienen el suficiente oxígeno para funcionar adecuadamente en el organismo, esta enfermedad es



conocida como metamoglobinemia o “la enfermedad de los bebés azules”. Los bebés son las personas que se encuentran en un mayor riesgo de contraer problemas de salud por la ingesta de agua con niveles elevados de nitritos, debido a que los bebés tienen poca acidez en su estómago y esto permite que las bacterias crezcan y los nitratos se transforman rápidamente en nitritos. El síntoma más frecuente de esta enfermedad es la aparición de una tonalidad azul en la piel generalmente situada alrededor de los ojos y de la boca; la efectividad del tratamiento para esta enfermedad depende de la rapidez con la que sea diagnosticada, ya que se aplica una inyección de azul de metileno con la finalidad de transformar la metamoglobina a hemoglobina nuevamente [37].

Sin embargo según los RIPS y las encuestas aplicadas para el grupo etario de 0 a 4 años no se registra algún síntoma asociado a dicha enfermedad, considerando que este es el grupo poblacional más susceptible de padecerla.

El aluminio tiene como vías de absorción la inhalación, la ingesta, y el contacto directo con la piel en donde la ingesta es la vía más importante de este compuesto. La exposición a bajos niveles de aluminio no causa daños a la salud, sin embargo, el aluminio no es una sustancia necesaria para el organismo y el cuerpo humano absorbe cantidades limitadas de este ya que tiene barreras muy efectivas contra su asimilación. No obstante en grandes cantidades puede ser peligroso debido a que puede ocasionar efectos serios sobre la salud como daño en el sistema nervioso central, demencia, pérdida de la memoria, temblores severos, cáncer, Alzheimer y afectaciones en los riñones [38].

Según la OMS se indica que las estimaciones de riesgo para este compuesto son imprecisas, por lo cual no se puede calcular un riesgo atribuible poblacional. Sin embargo, se debe controlar la exposición del aluminio en la población, en especial en las personas que presentan afectaciones renales, ya que este compuesto se puede acumular en los riñones y traer consigo efectos secundarios como enfermedades en los huesos o en el cerebro, teniendo en cuenta que la principal vía de eliminación del aluminio es la orina y al presentar afectaciones sobre los riñones se impide su excreción de forma adecuada [39].

De acuerdo a la información obtenida de los RIPS y de las encuestas aplicadas en el municipio se establece que no existen síntomas ni enfermedades que se relacionen con la exposición a concentraciones altas de aluminio asociadas al consumo de agua.

El plomo es considerado una sustancia tóxica, la cual se va acumulando en el organismo afectando diversos sistemas, presentando efectos significativos especialmente dañinos en los niños de corta edad. Este compuesto se distribuye por el organismo hasta alcanzar el cerebro, el hígado, los riñones y los huesos, donde se va acumulando con el paso del tiempo y este puede volver a circular por la sangre durante el embarazo ocasionando un riesgo para el feto; actualmente no existe un nivel de exposición al plomo que pueda considerarse seguro [40].

En mujeres en condición de embarazo, la exposición a concentraciones elevadas de plomo puede ser causa de aborto natural, muerte fetal, parto prematuro, bajo peso al



nacer y provocar malformaciones leves en el feto

Los niños de corta edad son los que más se ven afectados por este tipo de compuesto considerando que ellos son especialmente vulnerables a los efectos tóxicos que se pueden ocasionar, generando afectaciones graves y permanentes en su salud incidiendo particularmente sobre el desarrollo del cerebro y del sistema nervioso. Los niños con problemas de desnutrición son más vulnerables al plomo porque sus organismos tienden a absorber mayores cantidades de este metal en caso de carencia de otros nutrientes, como el calcio [40].

Sin embargo también se presentan daños duraderos en los adultos, aumentando el riesgo de hipertensión arterial y lesiones renales. La exposición al plomo también puede causar anemia, hipertensión, disfunción renal, inmunotoxicidad y toxicidad reproductiva, se cree que los efectos neurológicos y conductuales asociados al plomo son irreversibles [40].

De acuerdo a la información obtenida de los RIPS y en las encuestas realizadas en la población del municipio de Guatavita se estableció que no se han presentado afectaciones sobre el sistema nervioso central e hígado, problemas renales e hipertensión arterial. Cabe resaltar que en los RIPS no se registra información acerca de los niños que pudieron haber presentado bajo peso al nacer y que posiblemente estuvo influenciado por las concentraciones de plomo encontradas en las muestras de agua, teniendo en cuenta que este es uno de los efectos más importantes del plomo sobre la madres gestantes.

El níquel se considera un compuesto cancerígeno por exposición vía respiratoria, sin embargo no se tienen sustentos teóricos a cerca de la probabilidad carcinogénica por vía oral. No obstante la exposición a altas concentraciones de esta sustancia puede ocasionar alteraciones en el estómago, la sangre, el hígado, los riñones, el sistema inmunitario y reproductivo, además de elevar las probabilidades de desarrollar cáncer de pulmón, nariz, laringe y próstata, defectos de nacimiento, asma y bronquitis crónica, reacciones alérgicas como son erupciones cutáneas y desordenes del corazón sobre la población que consume el agua con esta característica [29].

Teniendo en cuenta la información registrada en los RIPS para el casco urbano se establece una tasa de morbilidad en donde 9 de cada 1000 habitantes de esta zona presentan bronquitis no especificada siendo este el diagnóstico en el que se presenta mayor cantidad de casos que pueden estar relacionados a las concentraciones encontradas de níquel en las muestras de agua.

La exposición a cadmio ocurre generalmente a través de la ingesta de agua y alimentos que contengan el metal, esta representa del 5% al 10% del total del cadmio absorbido en el organismo. Una vez absorbido, el cadmio es transportado por la sangre a los diversos órganos y tejidos, principalmente a riñones e hígado, en donde se detiene cerca del 50% del cadmio, y a glándulas salivales, páncreas, músculo y sistema nervioso central, en muy bajas concentraciones [29].

Cuando existe una exposición crónica al cadmio se pueden producir diversos efectos



tales como afectaciones en el riñón ocasionando la formación de cálculos renales, debilidad en los huesos, irritaciones estomacales, náuseas, vómito, diarrea, dolor abdominal y muscular, fallos en la reproducción y posibilidad incluso de infertilidad, daño al sistema nervioso central, daño al sistema inmune, desordenes psicológicos, posibles daños en el ADN y desarrollo de cáncer [29].

A partir de las tasas de morbilidad calculadas se establece que 3 de cada 100 personas del grupo etario de 15 a 64 años de la población del casco urbano presentan diarrea y gastroenteritis de presunto origen infeccioso que puede ser atribuido a la presencia de esta sustancia en las concentraciones halladas en las fuentes de abastecimiento.

El consumo de hierro en el agua potable no está asociado a efectos adversos sobre la salud de las personas, no obstante el la presencia de este compuesto en grandes concentraciones puede conducir a un condición conocida como la sobrecarga de hierro; esta generalmente es el resultado de una mutación genética que afecta a las personas que se exponen a esta sustancia [41].

Adicionalmente se puede presentar la hemocromatosis, la cual es considerada una enfermedad grave que afecta gran parte de los órganos del cuerpo y es originada por un desorden genético, los síntomas que más se destacan son fatiga, pérdida de peso y dolor en las articulaciones; si esta no se trata adecuadamente puede conducir a enfermedades del corazón, problemas de hígado y diabetes, afectación del páncreas y cerebro [41] .

Algunas de las afectaciones secundarias que se pueden ocasionar a partir de la hemocromatosis son anemia principalmente o condiciones relacionadas que llevan a transfusiones múltiples. Otros de los síntomas originados en el organismo debido a altas concentraciones de hierro son malestar abdominal, náuseas, vómitos, fatiga, debilidad, pérdida de apetito, del deseo sexual y del vello corporal [41].

Considerando las afectaciones que puede ocasionar las altas concentraciones de este compuesto en el agua de consumo humano sobre la salud de las personas se establece que en la población del casco urbano del municipio no se han registrado diagnósticos asociados a la presencia de este compuesto. Sin embargo en el grupo etario de 15 a 64 años de edad se registra un diagnóstico de artritis reumatoide, la cual causa dolor severo, inflamación, rigidez y pérdida de la función de las articulación en personas de edad avanzada; este tipo de enfermedad no tiene causa específica no obstante varios estudios han revelado que los genes, el ambiente y las hormonas juegan un papel fundamental en el desarrollo de este tipo de enfermedad. Cabe resaltar que la presencia de esta enfermedad dentro de la población no es significativa y tampoco se puede asociar directamente a la presencia de altos contenidos de hierro en el agua.

El molibdeno es un elemento esencial para la nutrición humana necesario para procesar los aminoácidos que son utilizados en diferentes procesos metabólicos. Las personas que ingieren de 10 a 15 miligramos por día (mg/día) de molibdeno, por tiempo prolongado, pueden desarrollar la hiperuricemia (un aumento de ácido úrico en la sangre) como síntomas de gota. Raramente ocurre la toxicidad de esta sustancia porque se requiere ingerir una dosis de más de 100 miligramos por día (mg/día) para que se presenten



síntomas de toxicidad. Es importante resaltar que dentro de la información registrada en los RIPS no se relacionan diagnósticos que se asocien con la presencia de gota dentro de la población [42].

Sin embargo la toxicidad del molibdeno está directamente relacionada con la cantidad de cobre acumulado en el cuerpo, si la persona no tiene una cantidad adecuada de cobre en su cuerpo la persona podría estar en más riesgo. Adicionalmente el molibdeno es utilizado para tratar enfermedades metabólicas que son heredadas y poco comunes, como la enfermedad de Wilson, la cual prohíbe la eliminación de cobre en el cuerpo. Los compuestos de molibdeno generalmente son hidrosolubles, lo cual permite que se pueda absorber fácilmente por los pulmones y el tracto gastrointestinal; después del proceso de absorción, el molibdeno es esparcido a través del cuerpo con los niveles más altos generalmente en el hígado, los riñones, el bazo y en los huesos [42]

El manganeso es considerado un elemento traza tóxico esencial, el cual es indispensable para la supervivencia de los seres humanos, pero que también es tóxico cuando sus concentraciones son demasiado elevadas. Después de ser absorbido en el cuerpo humano el manganeso es transportado a través de la sangre al hígado, los riñones, el páncreas y las glándulas endocrinas en donde se presentan la gran mayoría de efectos debido a sus elevadas concentraciones. Un episodio generado por las concentraciones de manganeso en el cuerpo puede empezar por síntomas tales como, esquizofrenia, depresión, debilidad de músculos, dolor de cabeza e insomnio [42].

Lo cual se relaciona con los diagnósticos registrados en los RIPS para el casco urbano del municipio, teniendo en cuenta que el dolor de cabeza es el mayor diagnóstico que se presenta allí y que posiblemente podría estar influenciado por la presencia de esta sustancia en el agua de consumo humano, considerando que 15 de cada 1000 habitantes del casco urbano del municipio presenta cefalea.

Adicionalmente el manganeso presenta efectos sobre la salud humana como aumento de la masa corporal, intolerancia a la glucosa, coágulos en la sangre, problemas de la piel, bajos niveles de colesterol, desorden del esqueleto, defectos de nacimiento, cambios del color del pelo y síntomas neurológicos [41].

De acuerdo a la información anteriormente descrita no se puede asegurar una relación directa entre la presencia de estos compuestos químicos en el agua que consume la población y los efectos que se pueden originar a partir de las mismas. Sin embargo es importante considerar los efectos que se pueden ocasionar a partir de la exposición prolongada a estos compuestos y su presencia dentro de los cuerpos hídricos.

6.3. DETERMINACIÓN DE LOS PUNTOS CRÍTICOS SANITARIOS

En referencia a las concentraciones de los compuestos analizados para las fuentes de abastecimiento y sus posibles incidencias sobre la salud de los habitantes se establece que la presencia de plomo, cadmio y níquel en el agua generan un riesgo indicando que el agua es inviable sanitariamente para consumo humano como se observa en el Anexo 15 y 16; a partir de esto se determina que los tres puntos de muestreo en cada una de las



fuentes son puntos críticos sanitarios. Adicionalmente la presencia de estos compuestos en los cuerpos hídricos generan automáticamente un puntaje de 100 en el IRCA, teniendo en cuenta que estos son considerados sustancias nocivas para la salud humana de acuerdo a lo establecido en la Resolución 2115 de 2007. De igual forma en este escenario no se contemplarán las concentraciones obtenidas para aluminio y molibdeno considerando que estas sustancias tienen consecuencias económicas e indirectas sobre la salud de las personas y por ende no tienen un puntaje de riesgo asignado. Las variaciones en las concentraciones de los compuestos anteriormente mencionados según los puntos de muestreo para las fuentes de abastecimiento se evidencian en del Anexo 17 al Anexo 22.

Se observa que a nivel microbiológico las fuentes de abastecimiento no registran valores de *E.coli* y coliformes totales como se evidencia del Anexo 23 al 26, de esta manera se descarta que allí se presente un problema en cuanto la presencia de estos. Sin embargo es importante resaltar la relevancia que tienen estos parámetros sobre los índices de calidad ya que como se evidencia en el escenario 2 en donde no se tuvieron en cuenta los aspectos microbiológicos, los resultados del IRCA se encuentra en un nivel de riesgo alto como se muestra en el Anexo 27 y Anexo 28.

Cabe aclarar que los resultados obtenidos para el IRCA en el escenario 2 son debido a que en el momento de realizar el cálculo no se tuvieron en cuenta los parámetros microbiológicos, lo cual fue contrastado con el escenario 3 en donde se contemplaron estos parámetros y el nivel de riesgo disminuyó considerablemente como se observa en el Anexo 29 y Anexo 30. Para este escenario adicionalmente se tuvieron en cuenta parámetros tales como los nitritos, fluoruros, hierro y manganeso, los cuales registraron concentraciones que sobrepasan los límites establecidos en la norma pero que no inciden significativamente sobre la salud de los seres humanos.

6.4. MAPAS DE RIESGO DE LAS FUENTES DE ABASTECIMIENTO

Para la realización de los mapas de riesgos de la Quebrada Corales y Río San Francisco se consideraron aspectos tales como el contexto actual de la zona de estudio obtenida a partir de la aplicación de las encuestas tanto en el casco urbano como rural, el cálculo del IRCA para los puntos de muestreo identificados anteriormente y los escenarios analizados.

En el Río San Francisco, el Escenario 1 se evidencia un riesgo alto como se muestra en el Anexo 31 este se ve influenciado por el valor de IRCA obtenido ya que este según el resultado el agua es inviable sanitariamente debido a la presencia de compuestos como plomo, cadmio y níquel, además de tener en cuenta las actividades agrícolas en uno de los predios aledaños a la fuente de abastecimiento en donde se hace uso de herbicidas.

El Escenario 2 y 3 presentan un riesgo medio como se observa en el Anexo 32 y el Anexo 33 respectivamente, teniendo en cuenta que el valor del IRCA varía notablemente ya que no se cuenta con la presencia de los compuestos anteriormente mencionados, y en el caso específico del Escenario 2 se descartan los aspectos microbiológicos. Es importante resaltar que actividades tales como la quema de residuos sólidos puede tener influencia



sobre los compuestos hallados ya que mediante la velocidad y dirección del viento pequeñas partículas desprendidas durante el proceso de combustión pueden llegar a la fuente de abastecimiento.

Para la Quebrada Corales, en los Escenarios 1 y 2 se presenta un riesgo medio como se registra en el Anexo 34 y el Anexo 35, es importante mencionar que en el Escenario 1 también se cuenta con la presencia de plomo, cadmio y níquel pero la intensidad de las actividades como la agricultura es menor en comparación con el Río San Francisco. La quema de basuras en predios aledaños puede tener influencia sobre la calidad del recurso.

En el Escenario 3 el nivel de riesgo es bajo como se observa en el Anexo 36, en este se tuvo en cuenta los parámetros microbiológicos, lo cual resalta la importancia de estos a la hora de realizar un análisis de calidad de agua.

Cabe resaltar que la calidad del agua de la Quebrada Corales se encuentra en mejores condiciones en comparación al Río San Francisco, teniendo en cuenta que los niveles de riesgo son más altos en la fuente principal de abastecimiento.



7. DIAGNÓSTICO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE (PTAP)

7.1. ESTADO ACTUAL

La PTAP del municipio de Guatavita se encuentra ubicada dentro del casco urbano, en esta se realiza un tratamiento de tipo convencional entre los cuales se tienen procesos como captación, aireación, floculación, sedimentación, filtración, desinfección y almacenamiento para su posterior distribución.

A continuación se describen detalladamente cada uno de los procesos de tratamiento ejecutados dentro de la PTAP:

7.1.1. Captación. El acueducto cuenta con dos bocatoma ubicadas en las veredas Corales y Carbonera Alta como se ilustra en la Imagen 3, la fuente de abastecimiento de estas es la Quebrada Corales y el Río San Francisco respectivamente. La Quebrada Corales es utilizada como bocatoma alterna en las épocas de sequía.

La aducción es de tipo cerrado la cual recorre de extremo a extremo, es decir desde las fuentes de abastecimiento hasta la PTAP del municipio, esta consta de 11,8 km de tubería en PVC de 6 pulgadas. Este sistema consta de 7 registros de lavado o purgas, 8 ventosas y 5 cámaras de quiebre.

Imagen 3. Bocatoma fuente de abastecimiento del acueducto del municipio de Guatavita

a. Bocatoma Río San Francisco

b. Bocatoma Quebrada Corales



Fuente: Los autores

7.1.2. Aireación. En este proceso se cuenta con un aireador de cinco bandejas en donde al final de este se deposita en un cono de mezcla rápida para aplicar el coagulante; el tipo de coagulante utilizado es policloruro de aluminio en estado líquido, con una dosificación



de 90 ml por minuto. Para determinar la dosificación del coagulante se realiza de dos a tres veces por día el test de jarras.

Imagen 4. Aireador de la PTAP de Guatavita



Fuente: Los autores

7.1.3. Floculación. Se realiza en un tanque de 2,80 m de ancho, 3 m de largo y 3,40 m de profundidad justo después de aplicar el coagulante, con el fin de formar flocs que serán sedimentados posteriormente. El coagulante aplicado es policloruro de aluminio.

Imagen 5. Floculador de la PTAP de Guatavita



Fuente: Los autores

7.1.4. Sedimentación. El sedimentador cuenta con un diseño de panel de abeja con una profundidad de 3,40 m, un ancho de 3 m y una longitud de 4 m, sin embargo este no



cuenta con el tiempo de retención suficiente para eliminar todas las partículas anteriormente formadas.

Imagen 6. Sedimentador de la PTAP de Guatavita



Fuente: Los autores

7.1.5. Filtración. Se realiza mediante dos filtros de tipo ascendente y cinco de tipo descendente como se observa en las Imagen 7, los cuales cuentan con un lecho filtrante conformado por una capa de arena, antracita y grava, teniendo una vida útil de cuatro años, estos fueron cambiados el 7 de Junio de 2017.

Imagen 7. Filtros de la PTAP de Guatavita



Fuente: Los autores



7.1.6. Desinfección. Esta se lleva a cabo con cloro gaseoso con una dosis mayor a 5 l/s. Esta dosificación se realiza a la salida de los filtros.

Imagen 8. Sistema de desinfección de la PTAP de Guatavita



Fuente: Los autores

7.1.7. Almacenamiento. Se cuenta con cuatro tanques de almacenamiento los cuales dos de estos tienen una capacidad de 120 m³, otro de 100m³ y otro de 130m³. De aquí pasa al sistema de conducción el cual consta de cinco líneas de distribución de las cuales dos conducen al sur, otra al norte, otro a las parcelas y otra al barrio Tejares.

Imagen 9. Tanques de almacenamiento de la PTAP de Guatavita



Fuente: Los autores

7.1.8. Laboratorio PTAP. La PTAP cuenta con un laboratorio en donde se realizan las mediciones de diferentes parámetros como turbiedad, color, pH, entre otro. También posee diferente equipos para llevar a cabo dichas mediciones tales como un fotómetro, turbidímetro, pH-metro y equipo de test de jarras.

Imagen 10. Laboratorio de la PTAP de Guatavita



Fuente: Los autores

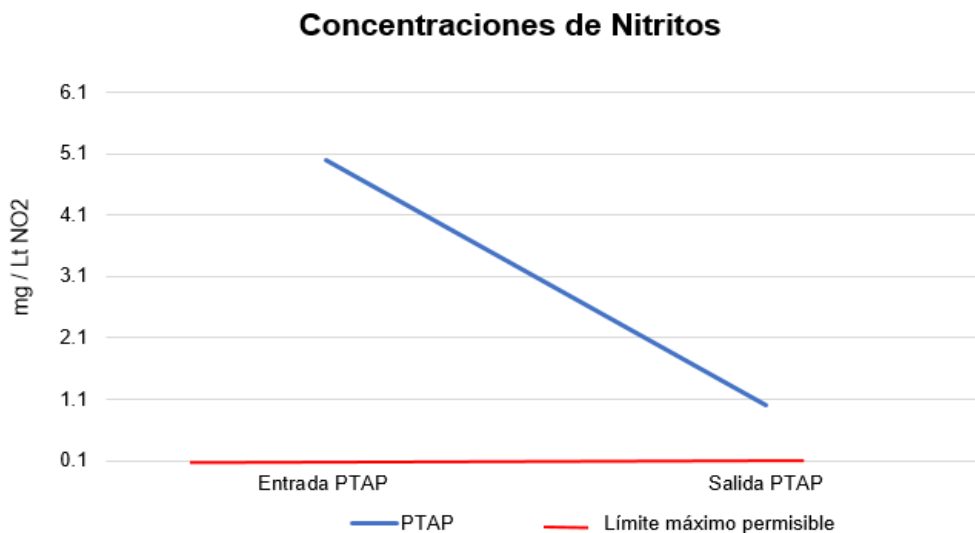


7.2. CALIDAD DEL AGUA DE LA PTAP

En la PTAP se realizó un muestreo a la entrada y a la salida de esta, en donde los análisis de laboratorio arrojaron que nitritos, aluminio, plomo, níquel, hierro, manganeso y cadmio superan el límite permisible establecido en la normatividad.

En cuanto a los nitritos, se presenta una disminución en las concentraciones de este compuesto pasando de 5 mg/Lt NO₂ a 1mg/Lt NO₂ sobrepasando los límites aceptables para el agua potable como se muestra en la Gráfica 21.

Gráfica 21. Concentración de nitritos a la salida y entrada de la PTAP

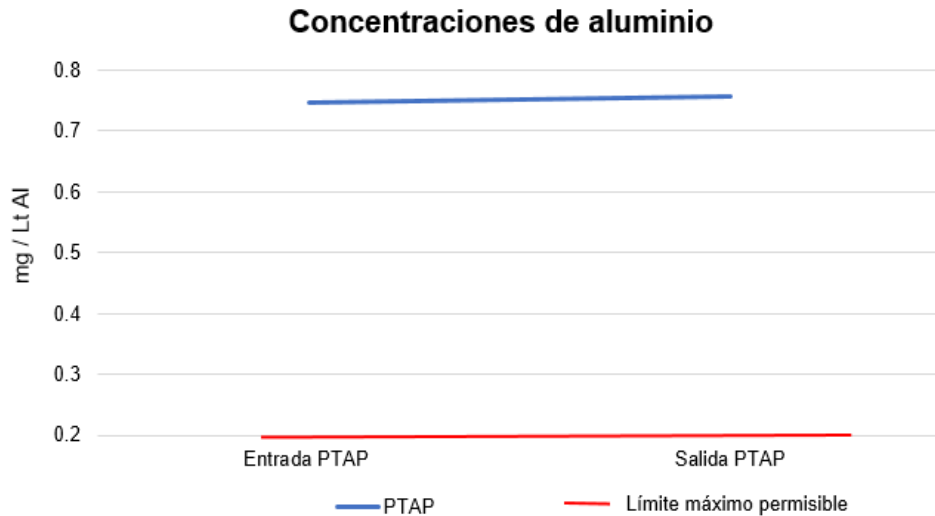


Fuente: Los autores

Igualmente el aluminio excede los valores máximos permitidos de potabilidad, sin embargo, las concentraciones no varían significativamente entre la entrada y la salida de la PTAP, esto se evidencia en la Gráfica 22 en donde las concentraciones de este aumentan en el agua de la salida de la PTAP, considerando que el coagulante utilizado para la remoción de partículas es sulfato de aluminio.



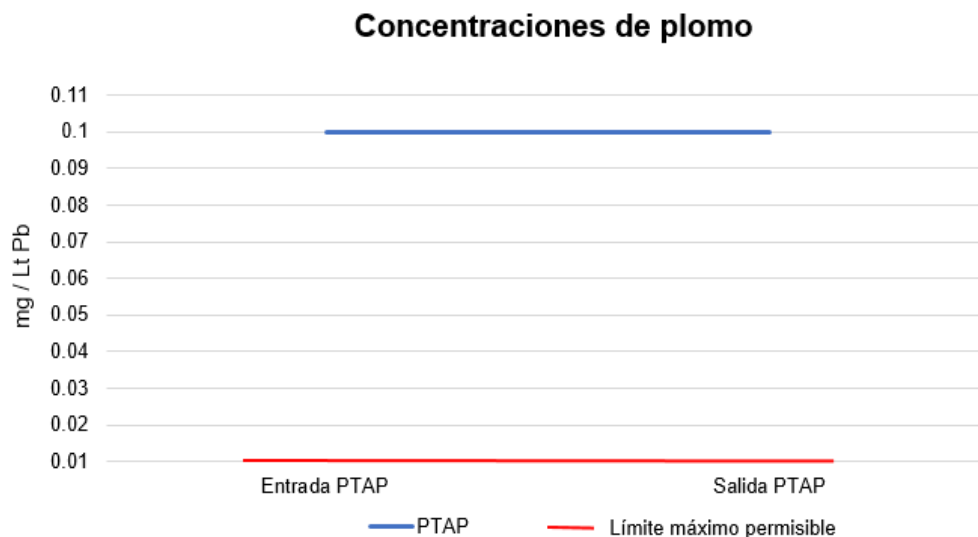
Gráfica 22. Concentración de aluminio a la salida y entrada de la PTAP



Fuente: Los autores

Por otro lado, a pesar que el plomo no varía en sus concentraciones a la entrada y la salida de la PTAP, este supera los valores permisibles de la normatividad, esto indica que en la PTAP no se llevan a cabo procesos que permitan la disminución o la eliminación de este tipo de compuestos. Las concentraciones registradas para el plomo se observan en la Gráfica 23. Del mismo modo, el níquel también supera los valores de potabilidad, no obstante se identifica una disminución de estas concentraciones comparando las características del agua a la entrada y a la salida de la PTAP.

Gráfica 23. Concentraciones de plomo a la entrada y salida de la PTAP

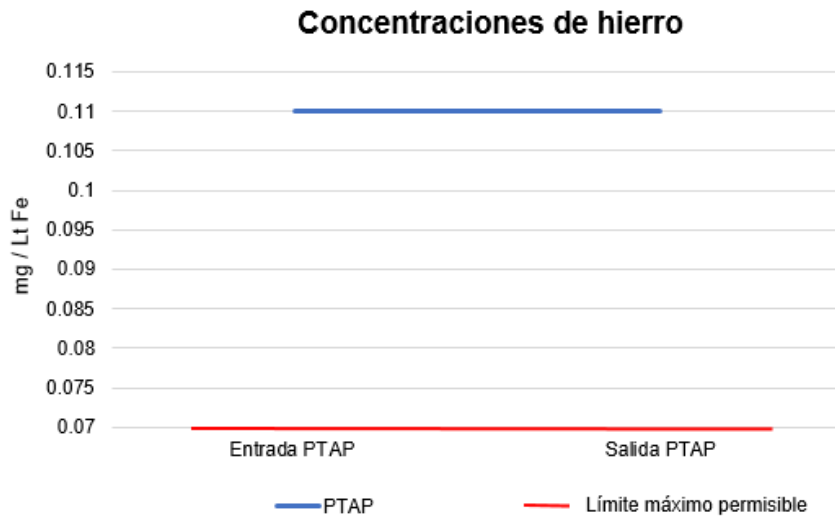


Fuente: Los autores



El hierro es otro de los compuestos encontrados en las muestras de agua tomadas en la PTAP, las concentraciones de este no varían entre la entrada y la salida de la PTAP registrando un valor de 0,11 mg/Lt Fe como se evidencia en la Gráfica 24.

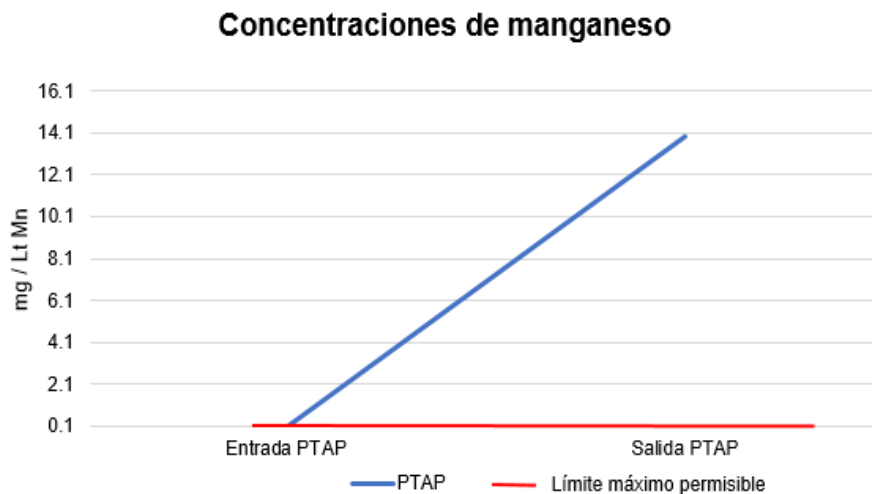
Gráfica 24. Concentraciones de Hierro a la entrada y salida de la PTAP



Fuente: Los autores

Así mismo es importante mencionar el aumento de las concentraciones de Manganeseo que se presentan entre la entrada y la salida del agua de la PTAP, sobrepasando en ambos puntos los límites aceptables para para el agua de consumo humano, estos se evidencian en la Gráfica 25.

Gráfica 25. Concentraciones de Manganeseo a la entrada y salida de la PTAP

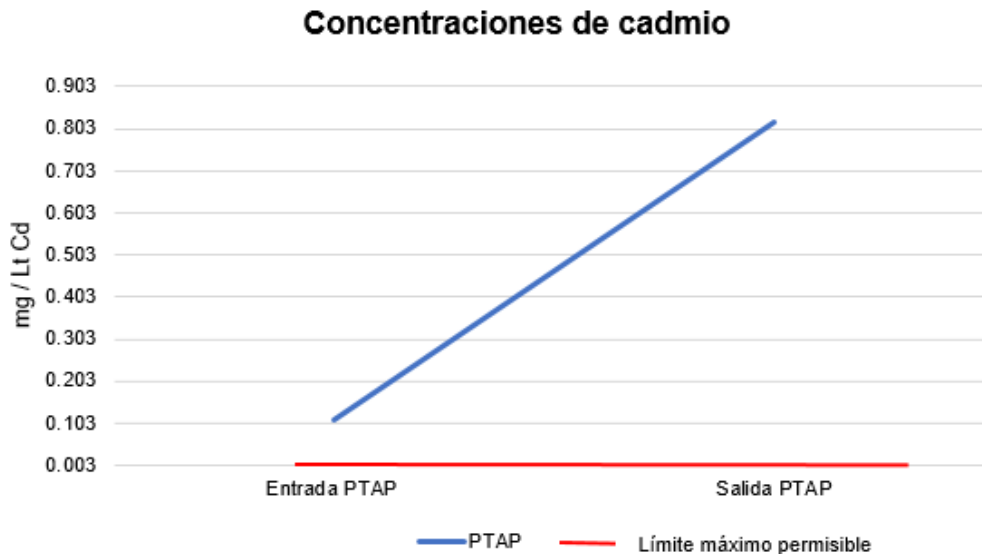


Fuente: Los autores



Finalmente el Cadmio es otro de los compuestos que exceden los límites y que a su vez es de gran importancia sanitaria; en sus concentraciones se evidencia un aumento a la salida de la PTAP como se muestra en la Gráfica 26.

Gráfica 26. Concentraciones de Cadmio a la entrada y salida de la PTAP



Fuente: Los autores

Sin embargo dentro de la revisión bibliográfica no se encuentra información acerca de las causas del aumento en las concentraciones de estos compuestos durante los procesos de tratamiento de agua potable.

A partir de esto se puede evidenciar que los procesos llevados a cabo en la PTAP no están removiendo en su totalidad algunas sustancias y que por el contrario se está evidenciando un aumento en las concentraciones a la salida de la planta. Es importante resaltar que las sustancias que están registrando estas variaciones en su concentración son de gran importancia sanitaria y que por ende pueden afectar la salud de la población servida. Por tanto es necesario mejorar los procesos que se ejecutan allí debido a que el agua llega en malas condiciones a la PTAP y está siendo distribuida a la población en las mismas condiciones.



8. MEDIDAS PARA EL MANEJO DE LOS PUNTOS CRÍTICOS SANITARIOS

- 8.1.** Teniendo en cuenta que cerca de la fuente de abastecimiento del Río San Francisco se llevan a cabo actividades agrícolas en las cuales se hace uso de sustancias químicas para el control de plagas que pueden estar afectando de manera significativa la calidad del recurso, es necesario disminuir el desarrollo de estas actividades en los predios cercanos mediante la compra de los mismos por parte de la Alcaldía del municipio o la Empresa de Servicios Públicos de Guatavita y de esta manera generar un uso diferente a la vocación actual de agricultura que se tiene allí con el objetivo de disminuir los impactos sobre el cuerpo de agua y conservar la zona circundante al cuerpo hídrico.
- 8.2.** Debido al inadecuado manejo de residuos sólidos generados por parte de la población de la zona rural del municipio de Guatavita, en donde actualmente se realiza la quema al aire libre de estos emitiendo sustancias químicas como monóxido de carbono, dióxido de azufre, material particulado, metales pesados, dioxinas y furanos, que pueden ingresar al medio acuático fácilmente disminuyendo la calidad de este, se requiere la aplicación de técnicas tales como la implementación de puntos ecológicos veredales en donde se lleve a cabo la recolección de dichos residuos para su posterior disposición final adecuada y así disminuir la quema de estos, los cuales no solo afectan al medio acuático sino la calidad del ambiente en general.
- 8.3.** Se debe realizar un control y seguimiento más continuo de las características fisicoquímicas del agua, en donde se incluyan parámetros como plomo, cadmio y níquel, los cuales son de gran importancia sanitaria y no se han tenido en cuenta en los estudios de agua realizados anteriormente por parte de las entidades municipales; esto se debe llevar a cabo con el fin de garantizar la inocuidad del recurso. De igual forma se debe desarrollar periódicamente para así controlar las condiciones en las que se encuentra el recurso hídrico y así establecer las posibles afectaciones de este sobre la población que la consume.



9. IMPACTO SOCIAL

Este proyecto es de suma importancia para el municipio de Guatavita, ya que permite conocer las condiciones actuales de calidad del agua que consume a población que allí reside. Adicionalmente es una herramienta para la gestión e implementación de medidas de seguridad para el consumo de agua inocua por parte de las autoridades competentes y de esta manera mejorar la calidad de vida de la población que tiene acceso a este recurso.

A partir de la información que proporciona este proyecto se pueden desarrollar estudios posteriores en dónde se realicen diferentes muestreos para identificar las variaciones en las concentraciones de los compuestos de interés y establecer una posible relación con los diagnósticos o enfermedades más relevantes dentro de la población de este municipio; ya que en un futuro se podrían implementar reformas en cuanto al proceso y estructura utilizada para el tratamiento del agua potable en la planta.

9. CONCLUSIONES

- De acuerdo a los resultados obtenidos en el mapa de riesgo en cada escenario se concluye que la Quebrada Corales presenta mejores características de calidad en comparación al Río San Francisco, considerando cada una de las actividades que se llevan a cabo en la zona de estudio.
- Los resultados obtenidos para el IRCA en cada uno de los escenarios demuestran la importancia de los aspectos microbiológicos dentro de este índice, ya que se evidencia notablemente la variación que se presenta en cada uno de ellos. Teniendo en cuenta que los resultados de los parámetros microbiológicos se encuentran dentro del límite permisible, lo cual permite establecer que no se están generando afectaciones sobre la salud de las personas debido a la presencia de agentes patógenos en el agua de consumo.
- Los procesos que se realizan para la potabilización del agua dentro de la PTAP no son adecuados para la remoción de sustancias químicas presentes en las fuentes de abastecimiento del municipio según los resultados obtenidos del laboratorio, las cuales ocasionan problemas de salud sobre la población que se surte de este recurso.
- Las concentraciones de plomo, cadmio y níquel obtenidas en el primer muestreo se pueden atribuir a actividades de fumigación en zonas aledañas a la bocatoma, considerando que estas superan el límite máximo permisible establecido en la normatividad para agua de consumo. Estas sustancias pueden estar relacionadas con algunos de los problemas de salud que se han presentado en el municipio de acuerdo a la información extraída de los RIPS.
- Los mayores problemas de calidad en las fuentes de abastecimiento se relacionan con la presencia de sustancias químicas tales como plomo, cadmio, níquel, molibdeno y aluminio de acuerdo a los resultados obtenidos en el primer muestreo realizado; teniendo en cuenta la importancia sanitaria de estos compuestos.
- Debido a la insuficiencia de datos no se logró llevar a cabo un método de correlación para establecer una relación entre los resultados obtenidos para el IRCA y las enfermedades registradas en los RIPS. Por tal motivo no se puede asegurar una asociación entre los diagnósticos registrados en los RIPS y el consumo de agua con estos compuestos, ya que la gran mayoría de diagnósticos pueden ser multicausales.
- De acuerdo a los resultados obtenidos en los mapas de riesgo para cada uno de los escenarios, se evidencia que la calidad del agua de la Quebrada Corales es más óptima en comparación al Río San Francisco, esto se presenta principalmente por las concentraciones registradas de los diferentes parámetros por parte de los laboratorios encargados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de las diferentes muestreos realizados.

10. RECOMENDACIONES

- Es necesario evitar la práctica de actividades de agricultura cerca las fuentes de abastecimiento ya que el desarrollo de estas pueden afectar de la calidad del agua debido al uso excesivo de sustancias químicas para el control de plagas como se evidencia actualmente. Por tal motivo se recomienda realizar la compra de los terrenos circundantes las bocatomas con el objetivo de preservar la calidad de las fuentes de abastecimiento.
- Se deben implementar técnicas adecuadas para la disposición final de los residuos sólidos que se generan en los predios, con el fin de disminuir la cantidad de partículas emitidas por la quema de estos al aire libre como se realiza hoy en día, ya que estas pueden ingresar al medio acuático fácilmente y por ende afectar la calidad del recurso.
- Realizar monitoreo y seguimiento a las características fisicoquímicas y microbiológicas de las fuentes de abastecimiento, incluyendo el análisis de sustancias químicas de interés sanitario que pueden ocasionar efectos adversos sobre la salud de las personas que se abastecen de este recurso.
- Optimizar los procesos de tratamiento realizados dentro de la PTAP, en dónde se remueve sustancias químicas y otros elementos que se encuentran presentes en el agua que consume la población del municipio, con el fin de mejorar la calidad del agua distribuida y así mismo garantizar una seguridad e inocuidad del agua. Una alternativa para la remoción de dichas sustancias es la implementación de un filtro de carbón activado previo al proceso de desinfección el cual permite la eliminación de metales pesados tales como cadmio, plomo, níquel, hierro, aluminio y demás partículas que no fueron removidas en los procesos anteriores.
- A la hora de realizar un análisis de calidad de agua, es de suma importancia tener en cuenta los aspectos microbiológicos, ya que como se evidencio en los diferentes escenarios desarrollados, el riesgo aumenta considerablemente cuando estos parámetros son descartados; esto es debido a la influencia que tienen sobre la salud humana.
- Para próximos estudios relacionados a este se sugiere realizar replicas en los muestreos con el fin de obtener mayor cantidad de datos y así establecer una correlación estadística entre las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua y los diagnósticos de enfermedades más frecuentes dentro de la población del municipio.
- Realizar muestreos en diferentes épocas del año para así establecer los posibles factores que tienen influencia sobre la calidad del agua; por ejemplo llevar a cabo muestreos de calidad teniendo en cuenta los periodos de tiempo en que se realiza fumigación de los cultivos aledaños a las fuentes de abastecimiento.



- Hacer revisión de la Encuesta Nacional Agropecuaria con la finalidad de obtener información confiable y oportuna sobre la actividad del sector agropecuario la cual tiene una influencia significativa sobre la calidad del recurso hídrico.

11. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Organización Mundial de la Salud (OMS), Guías para la calidad del agua potable, 3° ed., vol. 1, Suiza: OMS, 2006.
- [2] C. A. S. Ramírez, Calidad del agua, evaluación y diagnóstico, 1° ed., Medellín: Ediciones de la Universidad de Medellín, 2011.
- [3] Organización Mundial de la Salud (OMS), «Organización Mundial de la Salud,» OMS y UNICEF, 1 Julio 2017. [En línea]. Available: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs391/es/>. [Último acceso: 22 Agosto 2017].
- [4] L. E. S. Triana, *Estudio de antecedentes sobre la contaminación hídrica en Colombia*, Bogotá: Escuela Superior de Administración Pública (ESAP), 2007.
- [5] Organización Mundial de la Salud, «Agua, saneamiento y salud (ASS),» OMS, 1 Noviembre 2004. [En línea]. Available: http://www.who.int/water_sanitation_health/facts2004/es/. [Último acceso: 11 Junio 2017].
- [6] G. O. Fernández, «Salud Ambiental, agua para uso y consumo humano, límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización,» Secretaría de Salud, México, 2015.
- [7] Alcaldía de Guatavita, «Alcaldía de Guatavita, Cundinamarca,» Alcaldía de Guatavita, 01 Julio 2016. [En línea]. Available: http://www.guatavita-cundinamarca.gov.co/informacion_general.shtml#economia. [Último acceso: 15 Junio 2017].
- [8] Alcaldía de Guatavita, *Flora y Fauna Veredas Carbonera Alta y Corales*, Guatavita: Alcaldía de Guatavita, UMATA, 2017.
- [9] Ministerio de la Protección Social, *Decreto 1575 de 2007*, Bogotá D.C: Mlinisterio de la Protección Social, 2007.
- [10] A. B. Martel, «Aspectos fisicoquímicos del agua,» de *Tratamiento de agua para consumo humano*, Lima, El Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2004, p. 597.
- [11] J. A. Orellana, *Características del Agua Potable*, Bogotá: FRRO, 2005.
- [12] J. A. P. Parra, *Manual de Tratamiento de Agua*, Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 2013.

- [13] Organización Mundial de la Salud, «Organización Mundial de la Salud (Centro de prensa),» OMS, 1 Julio 2017. [En línea]. Available: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs391/es/>. [Último acceso: 16 Julio 2017].
- [14] G. Guerriinoni, «Agua y Saneamiento,» 21 Junio 2013. [En línea]. Available: <http://www.paho.org/blogs/etras/?p=1179>. [Último acceso: 18 Abril 2017].
- [15] Congreso de Colombia, *Ley 9 de 1979*, Bogotá: Congreso de Colombia, 1979.
- [16] República de Colombia, *Ley 142 de 1994: Servicios públicos domiciliarios*, Bogotá D.C: Congreso de la República, 1994.
- [17] Ministerio de Protección social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial, *Resolución 2115 de 2007*, Bogotá D.C: Ministerio de Protección social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial, 2007.
- [18] Ministerio de Protección social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial, *Resolución 4716 de 2010*, Bogotá D.C: Ministerio de Protección social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial, 2010.
- [19] Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, «IDEAM,» IDEAM, 14 Junio 2016. [En línea]. Available: <http://www.ideam.gov.co/web/agua/batimetricas>. [Último acceso: 8 Abril 2017].
- [20] DANE, *Demografía y población*, DANE.
- [21] Instituto Nacional de Salud, DANE,, *Manual de instrucciones para la Toma, Preservación y Transporte de Muestras de Agua de Consumo Humanos para Análisis de Laboratorio*, Bogotá D.C: Subdirección Red Nacional de Laboratorios, 2011.
- [22] Laboratorio Conoser LTDA, «Resultados de análisis de plomo, cadmio, escherichia coli y coliformes totales de muestras de agua,» Bogotá D.C, 2017.
- [23] Instituto Nacional de Salud, «Resultados del IRCA para la PTAP de Guatavita de los años 2015 y 2016,» Bogotá D.C, 2017.
- [24] CYTED, «Riesgo de enfermedades transmitidas por el agua en zonas rurales,» de *Agua potable para comunidades rurales, reuso, y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas*, vol. 1, Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua, p. 13.
- [25] N. M. F. A. O. E. G. y. L. J. L. Luis Galicia Chacón, «Análisis de concentración de fluoruro en agua potable de la delegación Tláhuac, Ciudad de México,» *Int. Contam. Ambi*, vol. 4 , nº 27, pp. 283-289, 2011.
- [26] M. E. Ryczel, «Presencia en el agua de bebida de nitratos y nitritos y su impacto sobre la salud,» *ATA INFORMA*, nº 71, pp. 24-26, Abril 2006.

- [27] Ministerio de agricultura y pesca, alimentacion y medio ambiente, «Carbono orgánico total,» Ministerio de agricultura y pesca, alimentacion y medio ambiente, [En línea]. Available: <http://www.prtr-es.es/Carbono-organico-total-COTComo-C,15663,11,2007.html>. [Último acceso: 10 Octubre 2017].
- [28] Instituto de Recursos de Agua de Texas, *Problemas de agua potable: El hierro y el manganeso*, Texas: Comunicaciones Agrícolas, El Sistema Universitario Texas A&M, 2001.
- [29] DIGESA, *Parámetros organolépticos*, GESTA AGUA, 2008.
- [30] E. A. R. Palpán, *Determinación químico toxicológica de plomo y cadmio en agua para consumo humano proveniente de los reservorios de la zona de San Juan Pampa – distrito de Yanacancha – Pasco*, Perú: UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS, 2015.
- [31] registry, Agency for toxic substances and disease, *Níquel*, Estados Unidos: División de toxicología, 2003.
- [32] Universidad Nacional, *Ingo. Jorge Arturo Pérez P.*, Bogotá : Facultad de Minas, 2000.
- [33] Siliva Bofill-Mas, Pilar Clemente-Casares, Néstor Albiñana-Giménez, Carlos Maluquer de Motes Porta, Ayalkibet Hundesa Gonfía y Rosina Giroes Llop, «Efectos sobre la salud de la contaminación de agua y alimentos por virus emergentes humanos,» *Esp. Salud Pública*, vol. 79, nº 2, pp. 253-269, 2005.
- [34] M. E. Ryczel, «Flúor en el agua de consumo,» 2006.
- [35] Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, «Reseña toxicológica de los fluoruros, fluoruro de hidrógeno y flúor,» Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, 2003. [En línea]. Available: https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs11.html. [Último acceso: 19 Octubre 2017].
- [36] Agencia de Protección de la Salud y Seguridad Alimentaria, «Los nitratos y nitritos y el agua de consumo,» Junta de Castilla y León, España, Agencia de Protección de la Salud y Seguridad Alimentaria.
- [37] Departamento de Servicios de Salud de California, «Posibles efectos en la salud relacionados con nitratos y nitritos en agua de pozos privados,» California, 2006.
- [38] L. S. L. y F. B. Díez, «REVISIÓN DE LOS ESTUDIOS SOBRE EXPOSICIÓN AL ALUMINIO Y ENFERMEDAD DE ALZHEIMER,» *Esp. Salud Pública*, vol. 76, nº 6, pp. 654-658, 2002.
- [39] Organización Mundial de la Salud, «Intoxicación por plomo y salud,» OMS, Agosto 2017. [En línea]. Available: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs379/es/>. [Último acceso: 13 Septiembre 2017].
- [40] OMS, «Intoxicación por plomo y salud,» Organización Mundial de la Salud, Agosto 2017. [En línea]. Available: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs379/es/>. [Último acceso: 12 Septiembre 2017].



Septiembre 2017].

- [41] M. L. M. y. M. C. Dozier, «Problemas del agua potable: Hierro y Manganeso,» Cooperativa de extensión de Texas, Texas.
- [42] Department of State Health Services , *Molibdeno*, Texas: Department of State Health Services , 2012.
- [43] A. Morillas, «Muestreo en poblaciones finitas,» 2013.
- [44] R. T. Molina, Fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano, Barranquilla: Universidad del Norte, 2015.