



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia
Vigilada Mineducación

TRABAJO DE GRADO

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO CHICAMOCHA PARA EL
CONSUMO HUMANO EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ

ANGÉLICA LILIANA ROJAS ROJAS
ARLEY FABIÁN TORRES SUÁREZ

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN RECURSOS HÍDRICOS

BOGOTÁ D.C

2022

TRABAJO DE GRADO

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO CHICAMOCHA PARA EL
CONSUMO HUMANO EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ

ANGÉLICA LILIANA ROJAS ROJAS
ARLEY FABIÁN TORRES SUÁREZ

Trabajo de grado presentado para optar al título de Especialista en Recursos
Hídricos

Docente

JORGE SALGADO
BIÓLOGO-DOCENTE DE PLANTA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN RECURSOS HÍDRICOS

BOGOTÁ D.C

2022



Atribución-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0)

This is a human-readable summary of (and not a substitute for) the [license](#). [Advertencia](#).

Usted es libre de:

Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

Adaptar — remezclar, transformar y construir a partir del material

La licenciante no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Bajo los siguientes términos:



Atribución — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.



NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).

No hay restricciones adicionales — No puede aplicar términos legales ni [medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia](#).

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1 INTRODUCCIÓN	8
2 GENERALIDADES	10
2.1 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN Y TIPO DE INVESTIGACIÓN	10
2.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
2.2.1 Pregunta De Investigación	11
2.2.2 Variables Del Problema	11
2.3 JUSTIFICACIÓN	11
3 OBJETIVOS	13
3.1 OBJETIVO GENERAL	13
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
4 MARCOS DE REFERENCIA	14
4.1 CUENCA ALTA DEL RÍO CHICAMOCHA	14
4.1.1 Localización del área de estudio	16
4.1.2 Fuente actual de abastecimiento de la población	16
4.1.3 Caracterización demográfica	17
4.2 USOS DEL AGUA	18
4.3 COBERTURA DEL SUELO	20
4.4 CALIDAD DEL AGUA	24
4.5 PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS QUE DETERMINAN LA CALIDAD DEL AGUA APTA PARA EL CONSUMO HUMANO	25
4.6 ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA 1970)	26
4.7 PROCESO DE MUESTREO	36
4.8 REGLAMENTACIÓN INTERNACIONAL	38
4.9 REGLAMENTACIÓN EN COLOMBIA	38
4.10 ESTUDIOS PREVIOS DE CALIDAD SOBRE LA MISMA FUENTE	39
4.10.1 POMCA	39
4.10.2 Empresa De Acueducto De Paipa, Red Vital	40
5 METODOLOGÍA	43
5.1 INSTRUMENTOS O HERRAMIENTAS UTILIZADAS	44

6	PUNTOS DE MUESTREO	45
6.1	DESCRIPCIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO	45
6.2	PUNTO DE MUESTREO N°1	46
6.2.1	Características hidrográficas del PM-1	46
6.2.2	Características socioeconómicas del PM-1	46
6.3	PUNTO DE MUESTREO N°2	47
6.3.1	Características Hidrográficas del PM-2	47
6.3.2	Características Socioeconómicas del PM-2	47
7	RESULTADOS Y ANÁLISIS	48
8	CONCLUSIONES	57
	BIBLIOGRAFÍA	- 59 -

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Clasificación de las variables del problema	11
Tabla 2. Subcuencas que conforman la cuenca Alta de Río Chicamocha	14
Tabla 3. Distribución de Usuarios Del Acueducto urbano de Paipa	19
Tabla 4. Parámetros físico-químicos evaluados en el Índice de Calidad NSF 1970	27
Tabla 5. Peso asignado a los parámetros físico-químicos en Índice de Calidad NSF 1970	28
Tabla 6. OD por grado de saturación	34
Tabla 7. Clasificación ICA NSF 1970	36
Tabla 8. Listado de la normatividad aplicada	38
Tabla 9. Datos históricos 1998 - 1999, estación Termopaipa	40
Tabla 10. Análisis de laboratorio efectuado N: 5° 46' 01"; W: 73° 06' 27"	41
Tabla 11. Análisis de laboratorio efectuado N: 5° 46' 04"; W: 73° 06' 29"	41
Tabla 12. Descripción de los puntos de muestreo	45
Tabla 13. Resultados para el punto N°1 de muestreo	48
Tabla 14. Resultados para el punto N°2 de muestreo	48
Tabla 15. Resultado cálculo del índice ICA de cada una de las muestras	49
Tabla 16. Comparación resultados estudios en otras temporadas	55

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Quebrada Toibita, fuente principal del sistema de acueducto de Paipa	10
Figura 2. Planta general subcuenca alta río Chicamocha.....	15
Figura 3. Planta general microcuencas alta río Chicamocha.....	15
Figura 4. Localización del área de estudio.....	16
Figura 5. Distribución de usuarios según uso en Paipa.....	19
Figura 6. Zonificación del suelo a 250 m de ronda del río.....	20
Figura 7. Exterior de la planta de producción ladrillera Maguncia.....	21

Figura 8. Acceso principal de la granja avícola.....	22
Figura 9. Vista general de vivero de BG Labs Colombia	22
Figura 10. Acceso principal estación TGI	23
Figura 11. Vista general de Termopaipa.....	23
Figura 12. Cultivos transitorios en la ronda de 500 m del río Chicamocha	24
Figura 13. Crianza de ganado lechero en la ronda de 500 m del río	24
Figura 14. Curva subíndice de pH	29
Figura 15. Curva subíndice de DBO.....	30
Figura 16. Curva subíndice Nitratos.....	30
Figura 17. Subíndice fosfatos	31
Figura 18. Subíndice de Temperatura	32
Figura 19. Subíndice de turbiedad	32
Figura 20. Subíndice de Solidos Totales Disueltos.....	33
Figura 21. Subíndice Coliformes Fecales	34
Figura 22. Saturación del Oxígeno Disuelto	35
Figura 23. Rangos de clasificación del ICA NSF 1970	35
Figura 24. Localización de los puntos de muestreo.....	45
Figura 25. Vista general del punto de muestreo 1	46
Figura 26. Vista general del punto de muestreo 2	47
Figura 27. Variación de oxígeno disuelto en los puntos de muestreo.....	49
Figura 28. Localización de las lagunas de enfriamiento de Termopaipa	50
Figura 29. Variación de pH en los puntos de muestreo	50
Figura 30. Variación de DBO en los puntos de muestreo	51
Figura 31. Variación de nitratos en los puntos de muestreo	51
Figura 32. Variación de coliformes fecales en los puntos de muestreo	52
Figura 33. Variación de temperatura en los puntos de muestreo.....	53
Figura 34. Variación de turbiedad en los puntos de muestreo.....	53
Figura 35. Variación de solidos disueltos totales en los puntos de muestreo	54
Figura 36. Variación de fosfatos en los puntos de muestreo	54
Figura 37. Variación del puntaje de ICA en los puntos de muestreo	55

LISTA DE ECUACIONES

	Pág.
Ecuación 1. Cálculo de ICA	28
Ecuación 2. Subíndice $2 < \text{pH} < 7.5$	29
Ecuación 3. Subíndice $7.5 < \text{pH} < 10$	29
Ecuación 4. Ecuación de cálculo del subíndice DBO.....	29
Ecuación 5. Ecuación de cálculo del subíndice nitratos.....	30
Ecuación 6. Ecuación de cálculo de subíndice Fosfatos	31
Ecuación 7. Cálculo subíndice de temperatura.....	31
Ecuación 8. Cálculo de Subíndice turbiedad	32
Ecuación 9. Cálculo de subíndice Solidos Totales Disueltos.....	33
Ecuación 10. Cálculo de subíndice coliformes fecales	33
Ecuación 11. Cálculo de ICA con Saturación mayor a 14'%......	35

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO I REGISTRO FOTOGRÁFICO.....	I
ANEXO II RESULTADOS DE LABORATORIO	II
ANEXO III MEMORIAS DE CALCULO.....	III

1 INTRODUCCIÓN

El centro oriente del departamento de Boyacá en Colombia, se beneficia de la corriente del Río Alto Chicamocha. La cuenca del río está conformada por 11 subcuencas y 46 microcuencas¹, conformando un territorio amplio en donde varias comunidades hacen uso de este afluente de diversas maneras para sus actividades diarias incluyendo el consumo humano. En este sentido, debido a esta diversa demanda se tiene un desgaste hídrico en términos de calidad y cantidad de agua que afecta a las localidades aguas abajo condicionando el acceso sustancialmente al agua potable.

Por esta razón, se analizó la afectación de la calidad de agua a su llegada al municipio de Paipa, que si bien, no se abastece principalmente de este río, su rápido crecimiento en los últimos años ha supuesto una presión sobre la disponibilidad de agua de las fuentes con las que cuenta actualmente que son la quebrada Toibita y pozos profundos; fuentes que en el caso de la quebrada se han declarado como agotadas por la corporación autónoma regional de Boyacá, CORPOBOYACA². Esta situación ha obligado a las autoridades a iniciar la búsqueda de nuevas fuentes hídricas de las cuales sacar provecho, entre las que se analiza el río Chicamocha, el cual cuenta con una cantidad suficiente de caudal para suplir las demandas futuras, sin embargo, las condiciones de calidad en el área de influencia del casco urbano del municipio generan preocupación en cuanto al desarrollo de actividades antrópicas que causan afectación a esta fuente.

En este estudio, se identifican algunos agentes de contaminación que afectan la calidad del agua del Río Chicamocha kilómetros antes de ingresar en el área urbana del municipio y como instrumento principal de análisis, se evalúa el Índice de Calidad del Agua (ICA)³, para su potencial consumo humano. Este índice es recomendado dentro de las metodologías de evaluación de calidad para ríos en el país en el Estudio Nacional del Agua (ENA 2018)⁴. Desarrollado dentro del panel de expertos de la National Sanitation Foundation (NSF) en el año de 1970, tiene la particularidad de ser un índice multiparamétrico que evalúa las curvas de función de un conjunto de variables de calidad de agua, donde las variaciones en Oxígeno Disuelto (OD) obtienen la mayor importancia. De esta manera, se realizan muestreos para determinar la calidad de agua en dos puntos definidos aguas arriba del casco urbano del municipio.

¹ CORPOBOYACÁ. Plan de ordenamiento hídrico Cuenca Alta del Río Chicamocha. 2015. PDF.

² CORPOBOYACÁ. Resolución 2087 de 2011. Por medio de la cual se otorga una renovación y ampliación de Concesión de Aguas Superficiales. Tunja. 12 de Julio de 2012. Art. 4, Pág. 5.

³ IDEAM. Estudio Nacional Del Agua 2018. Bogotá. 2019. Pág. 241

⁴ Ibid., p.1.

Posteriormente se analizan los resultados encontrados, discretizando el respectivo análisis por cada parámetro de estudio, dando explicación a cada uno de los valores determinados. Los resultados buscan dar paso a nuevas investigaciones en el sector que ayuden a identificar nuevas fuentes de agua como la del del río Chicamocha para el abastecimiento para la población.

2 GENERALIDADES

2.1 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN Y TIPO DE INVESTIGACIÓN

Gestión y tecnología para la sustentabilidad de las comunidades.

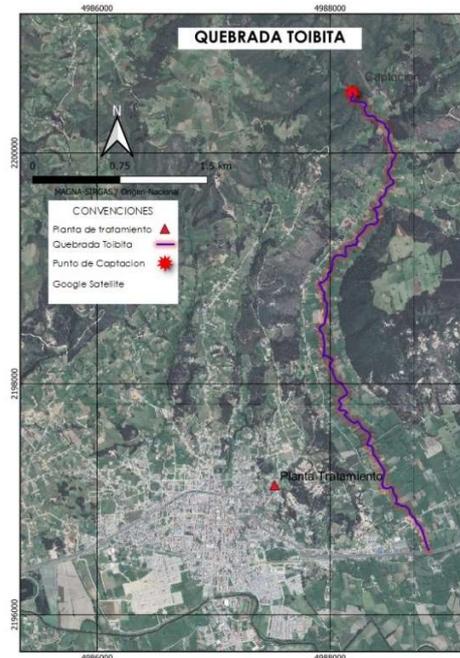
Tipo de investigación: **descriptiva**.

2.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El agua es un recurso de vital importancia para el desarrollo y supervivencia de los seres vivos. Por esta razón, la humanidad ha buscado distintas alternativas de abastecimiento para suplir sus necesidades, intentando a su vez garantizar, la sostenibilidad y el uso adecuado de los recursos hídricos.

Para el caso del casco urbano del municipio de Paipa, en el Departamento de Boyacá, el abastecimiento de agua se realiza a través de la captación de la quebrada Toibita que se puede observar en la Figura 1. Históricamente, esta quebrada ha garantizado la cantidad y la calidad adecuada de agua al municipio (referencia). Sin embargo, la capacidad de esta fuente hídrica está llegando a su límite máximo de explotación, de acuerdo con los conceptos emanados por la autoridad ambiental pertinente²³.

Figura 1. Quebrada Toibita, fuente principal del sistema de acueducto de Paipa



Fuente: Autores.

En efecto, las autoridades municipales están buscando nuevas alternativas de origen superficial y subterráneo para suplir las demandas diarias⁵. Una de las fuentes consideradas es el Río Chicamocha que ofrece el volumen de agua suficiente para satisfacer la demanda futura. Sin embargo, dadas las actividades antrópicas como industrias ladrilleras, lecheras, agroindustriales, entre otras, desarrolladas aguas arriba de la zona de influencia del casco urbano, y debido al arrastre de la escorrentía, se llevan contaminantes de diversos tipos al cauce principal del río. Por lo anterior, se busca determinar el grado de afectación que producen los vertimientos de estas comunidades a la calidad del agua.

2.2.1 Pregunta De Investigación

¿Cuáles son las condiciones de calidad del agua en el Río Chicamocha a la altura del municipio de Paipa, Boyacá?

2.2.2 Variables Del Problema

Con el fin de determinar si al agua del Río Chicamocha en el municipio de Paipa es apta para el consumo humano se tomaron muestras de agua en dos puntos del río en el sector de Maguncia y en el casco urbano, las cuales fueron analizadas en el laboratorio para los siguientes parámetros físico-químicos y microbiológicos:

Tabla 1. Clasificación de las variables del problema

Variable	Clasificación	
	Cuantitativa	Cualitativa
Turbiedad (UNT)	X	
pH (Unidades)	X	
Solidos disueltos totales (mg/L)	X	
Fosfatos (mg PO4 3-/L)	X	
Nitratos (mg NO3-/L)	X	
Coliformes fecales (UFC/100 mL)	X	
Oxígeno disuelto (mg/LO2)	X	
Demanda Bioquímica de oxígeno (mg/LO2)	X	
Temperatura (°C)	X	

Fuente: Autores.

2.3 JUSTIFICACIÓN

La fuente de abastecimiento con la que cuenta el casco urbano del municipio de Paipa es la quebrada Toibita, la cual se encuentra en su punto máximo de

⁵ JIMENEZ, Alejandro, Optimización y Sectorización De Las Redes De Distribución De Acueducto Del Casco Urbano Del Municipio de Paipa, 2017, Pág. 10

aprovechamiento permitido. De acuerdo al diagnóstico técnico de optimización y sectorización de las redes de distribución de acueducto del casco urbano del municipio de Paipa de 2017, el caudal captado de la fuente es de 38.73 L/s y el caudal máximo concesionado es de 61.27 L/s. Esto impacta directamente en la distribución de una ciudad en crecimiento como Paipa, que por lo tanto requiere de una nueva fuente de agua en el mediano plazo.

En este sentido, el Río Chicamocha, que atraviesa de sur a norte el casco urbano del municipio, supone una fuente alterna con la cantidad suficiente de agua capaz de suplir la demanda excedente superior a los 61.27 L/s que se pueden tomar de la quebrada Toibita, y que suple la demanda futura del casco urbano del municipio. Por esta razón, este proyecto busca evaluar la calidad del agua del Río Chicamocha en el municipio de Paipa en el departamento de Boyacá teniendo en cuenta el gran crecimiento poblacional y aumento de la demanda de agua.

Para este estudio se tuvieron en cuenta 9 parámetros físico-químicos específicos, turbiedad, pH, sólidos disueltos totales, fosfatos, nitratos, coliformes fecales, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno y temperatura. Estos parámetros, son los que se requieren para calcular el Índice de Calidad del Agua. Este índice clasifica la calidad del agua de acuerdo a 5 categorías: excelente, buena, regular, mala y pésima. Por otra parte, con este estudio y contribuyendo a la importante labor de la Organización Mundial de la Salud (OMS) que ha trabajado en prevenir el contagio de enfermedades transmitidas por el agua, se pretende dar paso a nuevas investigaciones que propicien el mejoramiento en las condiciones requeridas de calidad del agua de tal forma que sea apta para el consumo humano y a su vez que genere el uso sostenible y adecuado de esta fuente en el sector.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

- Evaluar la calidad del agua del Río Chicamocha en el municipio de Paipa, Boyacá para el consumo humano, con base en el análisis del Índice de Calidad del Agua (ICA 1970).

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar información necesaria para caracterizar el Río Chicamocha en el municipio de Paipa.
- Desarrollar el proceso de muestreo para la evaluación de los parámetros.
- Determinar el Índice de Calidad del Agua (ICA 1970) y analizar los resultados obtenidos.

4 MARCOS DE REFERENCIA

4.1 CUENCA ALTA DEL RÍO CHICAMOCHA

La cuenca alta del Río Chicamocha es una cuenca hidrográfica de gran importancia hidrológica en Colombia. Está delimitada por puntos altitudinales de gran magnitud y se encuentra conformada por algunos cuerpos de agua como lagunas, lagos y ciénagas⁶.

La cuenca tiene un área de 2148.006 km², está conformada por 11 subcuencas, 46 microcuencas y pasa por 24 municipios. Las subcuencas que conforman la cuenca Alta del Río Chicamocha se pueden observar en la Tabla 2 y en las figuras 2 Y 3.

Tabla 2. Subcuencas que conforman la cuenca Alta de Río Chicamocha

Subcuenca	Longitud (Km)
Río Jordán	37.35
Río Piedras	4.13
Río Tuta	5.54
Embalse La Copa	1.37
Río Pesca	30.90
Río Tota	19.35
Río Chiquito	13.90
Río Sotaquirá	11.10
Río Surba	19.26
Río Chiticuy	12.44
Río Salitre	14.68
Río Chicamocha	62.46

Fuente. Plan de ordenación y manejo ambiental de la Cuenca Alta del Río Chicamocha del 2015

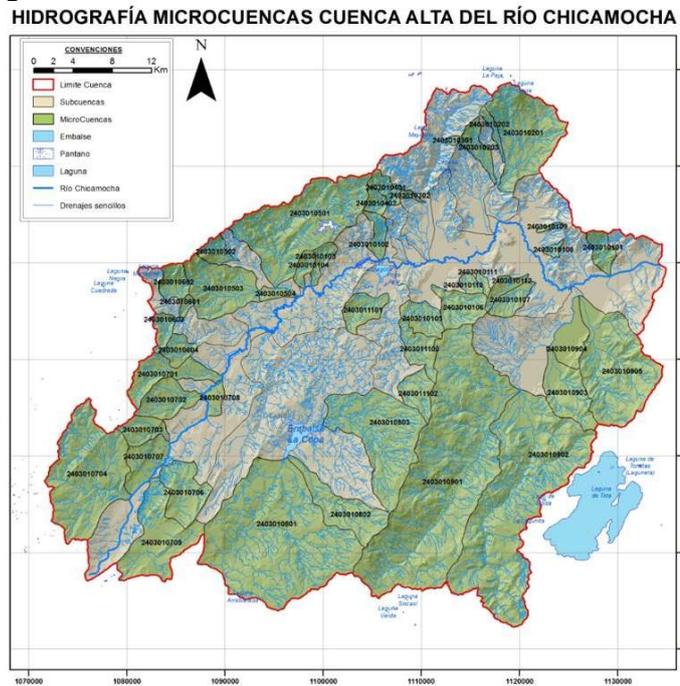
⁶ CORPOBOYACÁ. Plan de ordenamiento hídrico Cuenca Alta del Río Chicamocha. 2015, Pág. 24.

Figura 2. Planta general subcuenca alta río Chicamocha



Fuente: POMCA de la Cuenca Alta del Río Chicamocha del 2015

Figura 3. Planta general microcuencas alta río Chicamocha



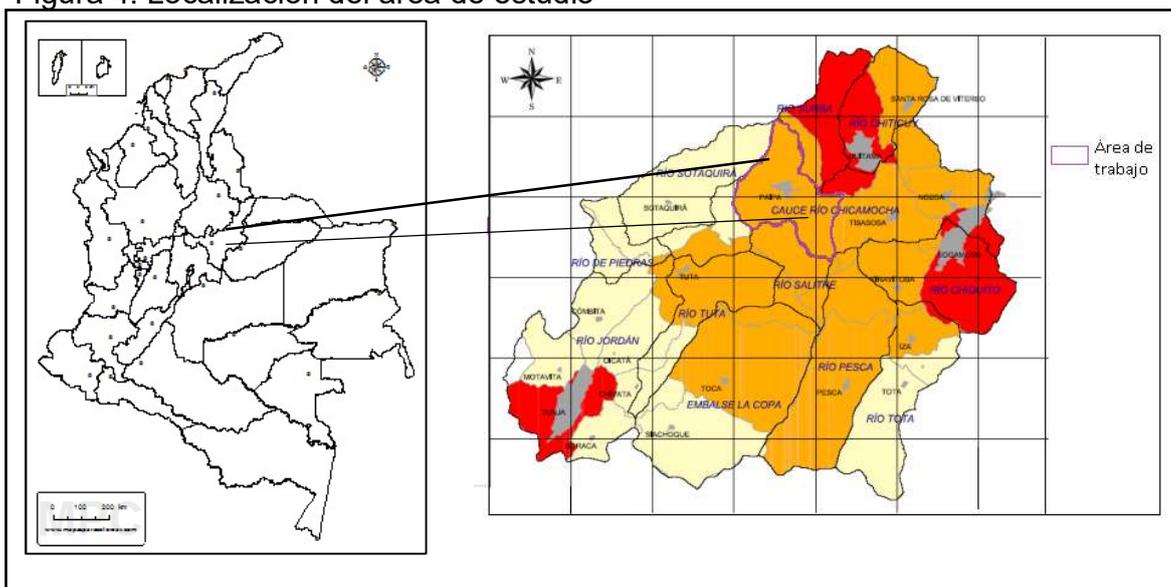
Fuente: POMCA Cuenca Alta del Río Chicamocha del 2015.

4.1.1 Localización del área de estudio

Por el municipio de Paipa pasa la subcuenca el cauce Río Chicamocha, en el que se destaca el sistema léntico asociado de gran importancia conocido como el lago Sochagota. Este lago recibió durante épocas de sequía, aguas que provenían de fuentes salinas del municipio y luego en épocas de altos caudales, las descargaba en el Río Chicamocha, preservando la calidad del agua en los niveles más bajos del río⁷. En la figura 2, se puede observar el área de estudio.

El sector se encuentra ubicado a 184 Km de Bogotá, a 40 Km de Tunja, a 29 Km de Sogamoso y a 12 Km de Duitama lo que permite un fácil acceso por vía terrestre. Como vías de comunicación principales se tiene en el modo aéreo el Aeropuerto Juan José Rondón, y como vías terrestres la carretera Central del Norte como vía principal que permite comunicarnos con Sotaquirá, Cómbita, Duitama, Tuta, Tunja y Bogotá.

Figura 4. Localización del área de estudio



Fuente: Plan de ordenación y manejo ambiental de la Cuenca Alta del Río Chicamocha del 2015 y modificado.

4.1.2 Fuente actual de abastecimiento de la población

La fuente más importante que abastece el acueducto urbano del municipio de Paipa

7. ALCALDÍA MUNICIPAL DE PAIPA. Plan de desarrollo municipal, Pág. 139. 12 de noviembre de 2019. En línea: < <https://www.paipa-boyaca.gov.co/Transparencia/PlaneacionGestionControl/Plan%20de%20Desarrollo%202020%20-%202023.pdf> >

es la Quebrada Toibita⁸. Su nacimiento se da por el afloramiento de aguas provenientes de una amplia área de recarga hídrica que se encuentra ubicada en el Páramo de Ranchería.

La Microcuenca que compone la Quebrada Toibita aporta algunos caudales de infiltración a la quebrada a lo largo de su extensión. Esto hace que el caudal aumente hasta el punto de la captación y aunque existen otras concesiones aguas arriba, el caudal que aporta la cuenca en el sitio de captación es suficiente para el suministro de agua al municipio tal como lo reporta el operador del sistema.

El nacimiento de la quebrada Toibita se encuentra ubicado en las coordenadas Y: 1.134.821 Norte y X: 1.107.528 Este.

El caudal captado de la fuente de acuerdo con la resolución 2706 de 2012 para el año 2017 fue de 38.73 L/s. En la misma resolución se indica que el Caudal máximo concesionado es de 61.27 L/s declarando la fuente agotada. Bajo esta consideración y asumiendo un caudal ecológico correspondiente al 25% del caudal medio mensual multianual más bajo de la corriente, el caudal medio de la fuente sería aproximadamente de 81.7 L/s.

La otra fuente utilizada para el abastecimiento de agua en situaciones de emergencia extrema o por motivos de fuerza mayor es el Río Chicamocha. Esta fuente fue utilizada en casos de escasez del recurso hídrico por situaciones de verano intenso lo que conllevó a la disminución sustancial del caudal transportado por la Quebrada Toibita. Este sistema actualmente se encuentra deshabilitado y la empresa RED VITAL S.A. E.S.P. está realizando gestiones para rehabilitarla.

Actualmente, la empresa de servicios públicos RED VITAL S.A. E.S.P. está ejecutando la gestión para aumentar la concesión. Esta se basa en las dotaciones para el sector comercial, industrial e institucional que no fueron considerados para la asignación del caudal concesionado inicialmente. Situación que ha sido aceptada inicialmente por CORPOBOYACÁ y se está a la espera de la modificación de dicha resolución.

Así mismo se solicitó la modificación de la resolución para que se incluyera la misma cantidad concesionada para la fuente alterna que en este caso sería el río Chicamocha. Ésta última fuente no fue considerada en la resolución del 2706 de 2012.

4.1.3 Caracterización demográfica

De acuerdo con el censo de población y vivienda del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), en el municipio de Paipa se tiene una densidad

⁸ CORPOBOYACÁ, Op. Cit. p. 455.

poblacional de 80,68 Hab/Km². La población total es de 31.868 habitantes, distribuidos en 20.202 (63,39%) en el casco urbano y 11.666 (36,61%) en área rural, de los cuales 16.256 del total de la población son mujeres (51%) y 15.622 son hombres (49%)⁹.

En cuanto a la estructura familiar, en Paipa existen 10.250 hogares en 9.872 viviendas. De estos, 5.993 (66%) son de familias de tipo nuclear, 1.677 (18%) de tipo extensa, o compuesta y 1.437 (16%) de tipo monoparental.

4.2 USOS DEL AGUA

La disponibilidad del agua tiene gran importancia para el desarrollo de las actividades diarias de los seres humanos y para el crecimiento económico de cualquier población. La demanda del agua está determinada por los usos naturales del agua y por los usos antrópicos.

Entre los usos naturales, se puede encontrar, el mantenimiento de los ríos, ecosistemas, transporte de sedimentos, y en general el agua que necesitan las plantas, reservas naturales y demás seres vivos para la supervivencia. Por otra parte, entre los usos antrópicos más importantes se puede encontrar el aprovisionamiento doméstico, la agricultura, la ganadería, la minería, la industria energética y la recreación¹⁰.

El agua es usada de distintas maneras y para cada uno de estos usos se necesita una calidad particular.

Se considera que dos terceras partes, del agua se destinan a usos agrícolas. La disminución de la calidad del recurso que se utiliza para esta actividad ha generado una disminución en su productividad. A su vez, el uso excesivo de plaguicidas, de fertilizantes y otros químicos utilizados en agricultura, también ha generado un alto nivel de contaminación en las fuentes hídricas¹¹.

El uso de agua en la ganadería también debe cumplir con unos requisitos en cuanto a la calidad se refiere, para evitar enfermedades en los animales que, a su vez, pueden ser transmitidas a los seres humanos. El uso industrial requiere de grandes cantidades de agua, y producen altos niveles de contaminación al agregar distintos contaminantes como fósforo, nitrógeno, materia orgánica, micro contaminantes entre otros a los vertimientos que se realizan en las fuentes hídricas¹².

9 CORPOBOYACÁ, Op. Cit., p 62.

¹⁰ FERNÁNDEZ Cirelli. El agua: un recurso esencial. Universidad de Buenos Aires (UBA). 03 de diciembre de 2012 Pág. 153 [Artículo en línea]: <https://www-virtualproco.ucatolica.basesdedatosezproxy.com/biblioteca/el-58-agua-un-recurso-esencial> Artículo GARCÍA, M. 24 de agosto de 2012. Variabilidad climática, cambio climático

¹¹ Ibid., 154

¹² Ibid., 155

El uso del agua para fines recreacionales, es de gran importancia porque generar desarrollo económico, pero a su vez, también es necesario tener en cuenta que, al tener contacto directo con las personas, requiere de unos niveles de calidad.

Otro de los usos, es la utilización de agua potable, que es definida como aquella que cumple con los niveles requeridos que la hacen apta para el consumo por animales y personas¹⁰. Esta definición es aplicada para el agua tratada de acuerdo a la reglamentación impuesta por las distintas autoridades internacionales y locales¹³. Los diferentes usos del recurso pueden llegar a contaminarlo y hacerlo no apto para otros usos, haciendo que sea necesario su tratamiento¹⁴.

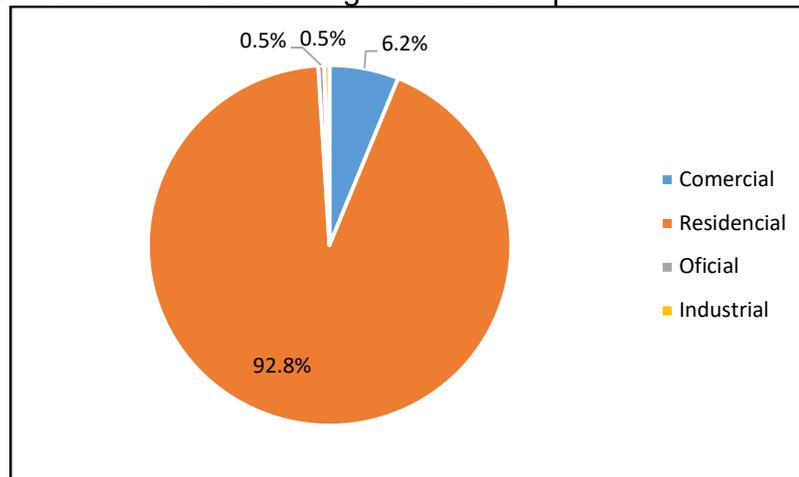
De acuerdo con lo anterior, se tiene que, en el casco urbano del municipio de Paipa, el acueducto del municipio, operado por la empresa de servicios públicos RED VITAL S.A. E.S.P. reporta un total de 8.928 usuarios activos. De éstos el 92.8% corresponde a usuarios de tipo residencial. En la siguiente tabla se desglosa el porcentaje de usuarios y el tipo de uso que ejercen sobre el agua.

Tabla 3. Distribución de Usuarios Del Acueducto urbano de Paipa

Uso	N° Usuarios	Porcentaje
Comercial	550	6.2%
Residencial	8288	92.8%
Oficial	48	0.5%
Industrial	42	0.5%
Total	8928	100%

Fuente: Módulo de servicios públicos ofrecido por Stefanini Sysman.

Figura 5. Distribución de usuarios según uso en Paipa



Fuente: Módulo de servicios públicos ofrecido por Stefanini Sysman.

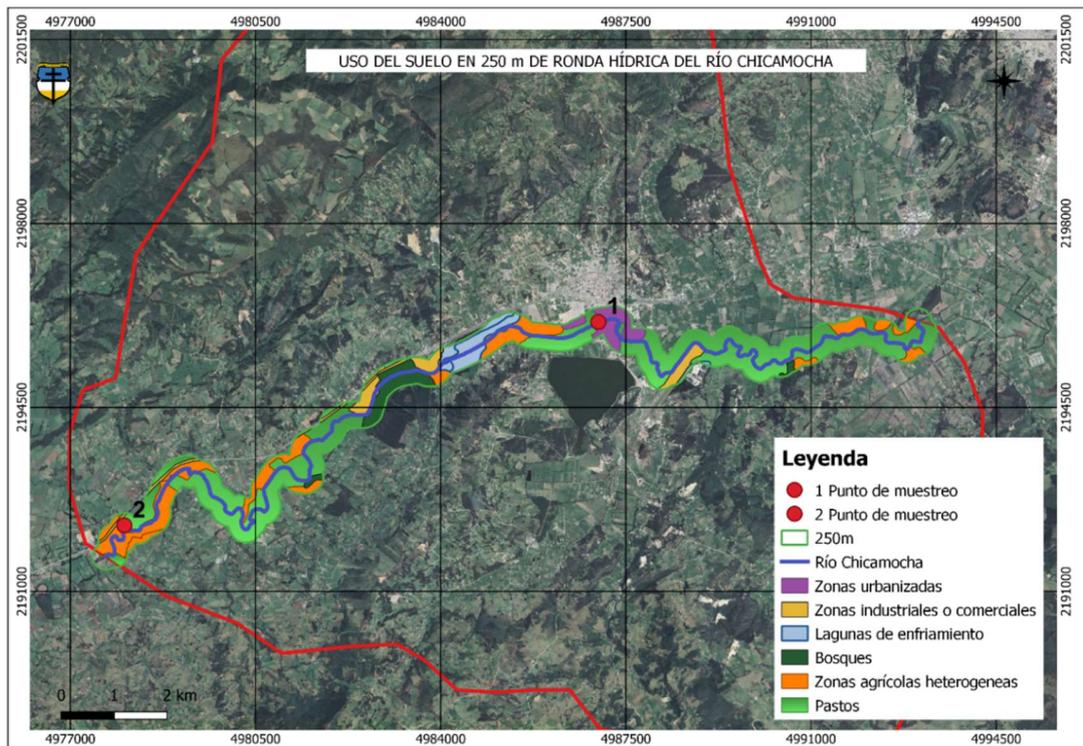
13 AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA) Standard methods for examination of the water and Wastewater (1998), Pág. 160.

14 ESCOBAR Isabel. SCHÄFER Andrea; Sustainable Water for the Future: Water Recycling versus Desalination 05 de octubre de 2009, Pág. 24

4.3 COBERTURA DEL SUELO

De acuerdo con la clasificación de cobertura del suelo establecida por el IGAC, se realizó una delimitación para la diferenciación del uso del suelo en 250 m de ronda hídrica del Río Chicamocha. Se estableció esta como el área de mayor afectación e incidencia sobre el río. Con base en esto se pudo definir que, en esta área, se encuentran zonas urbanizadas, zonas industriales y comerciales, bosques, zonas agrícolas heterogéneas, aguas continentales, pastos, lagunas de enfriamiento y áreas húmedas continentales como se puede observar en la Figura 6.

Figura 6. Zonificación del suelo a 250 m de ronda del río



Fuente: Autores.

A partir del análisis de la franja de influencia del río se define que:

- Las zonas urbanizadas se encuentran en el casco urbano del municipio tienen un área de 0.514 km².
- Las zonas industriales y comerciales están conformadas por industrias o comercios, el aeropuerto y la red vial y ferroviaria y tiene una extensión de 0.722 km².
- Los bosques cuentan con un área de 0.656 km².

- Las zonas agrícolas heterogéneas se encuentran conformadas por cultivos, pastos y espacios naturales y tienen una superficie de 2.317 km²., constituyendo el mayor uso dado a la franja de terreno en análisis.
- Las aguas continentales están conformadas por lagunas de oxidación y cuerpos de agua artificiales y tienen un área de 0.218 km². Estas lagunas en particular, son empleadas para la generación de energía eléctrica en la central de Termopaipa.
- Las zonas definidas como áreas húmedas continentales corresponden a la vegetación acuática sobre los cuerpos de agua y tienen una extensión de 0.410 km².
- Las lagunas de enfriamiento de la termoeléctrica de Paipa tienen un área de 0.629 km².

En esta zona de la ronda de hídrica de río en el área de estudio, se encuentran las siguientes industrias:

- La industria de ladrillos Maguncia se puede observar en la Figura 7, es una empresa que se dedica a la explotación, fabricación y venta de productos de arcilla específicamente ladrillos.

Figura 7. Exterior de la planta de producción ladrillera Maguncia



Fuente: Autores.

La Granja Avícola El Dorado, se puede observar en la Figura 8. Esta en una granja que se dedica a la cría de aves para su posterior procesamiento en la planta de tratamiento ubicada en el municipio de Duitama.

Figura 8. Acceso principal de la granja avícola



Fuente: Autores.

- Las instalaciones de la industria BG Labs Colombia se puede observar en la Figura 9. Esta empresa se dedica a la creación de productos derivados del cannabis y cuyo objetivo es mejorar la calidad de vida de personas que padecen enfermedades.

Figura 9. Vista general de vivero de BG Labs Colombia



Fuente: Autores.

- El centro operativo TGI SA ESP, se pueden observar en la figura 10. Esta empresa tiene como función el transporte y procesamiento de hidrocarburos.

Figura 10. Acceso principal estación TGI



Fuente: Autores

- La central eléctrica Termopaipa es una empresa generadora y comercializadora de energía a nivel nacional. Sus instalaciones se pueden observar en la Figura 11

Figura 11. Vista general de Termopaipa



Fuente: Autores.

El área circundante del río Chicamocha, específicamente en el margen de 500 metros al rededor del cauce se tiene una gran presencia de cultivos de tipo transitorio, como por ejemplo papa, maíz y hortalizas en general. Cultivos que dependiendo de la temporada del año tienden a variar su periodo vegetativo entre 3 y 6 meses. En las figuras 12 y 13 se aprecian algunos cultivos observados en la ronda del río Chicamocha.

Figura 12. Cultivos transitorios en la ronda de 500 m del río Chicamocha



Fuente. Autores.

Figura 13. Crianza de ganado lechero en la ronda de 500 m del río



Fuente: Autores.

4.4 CALIDAD DEL AGUA

Se ha considerado que el agua es un recurso renovable, no obstante, en los últimos años se ha podido notar un aumento en los niveles de su contaminación tanto en las fuentes oceánicas como en las fuentes continentales, todo esto causado por las actividades antrópicas. Estos niveles de contaminación se han convertido en una problemática ambiental y que va en aumento 15 16.

15 GERMAN Alba. Monitoreo satelital de la calidad del agua en una cuenca y su relación con incendios, precipitaciones y crecimiento urbano. 05 de junio de 2018

16 SALGOT Sánchez, Recursos d' agua, Fundación Agbar, España, 13 de septiembre 1999

La OMS define calidad del agua como las características físico-químicas y microbiológicas del agua, estas características determinan el uso que se puede dar a dicho recurso. Es bien conocido que los ríos y mares constantemente reciben cargas contaminantes provenientes de vertimientos y causadas por la actividad antrópica, como el uso industrial, ganadero, agricultor, el sector pecuario, entre otros, lo que causa una modificación en las características del recurso.

La capacidad de dilución del agua depende de las condiciones geomorfológicas, la hidrología y los cambios espacio-temporales del clima¹⁷. Teniendo en cuenta esta problemática, en los últimos años, los gobiernos de los diferentes países se han puesto en la tarea de realizar un seguimiento y control a las fuentes hídricas con el fin de determinar su nivel de contaminación y las formas más adecuadas para realizar su tratamiento¹⁸. La evaluación de la calidad del agua, se realiza mediante un análisis en el laboratorio de sus diferentes parámetros físico-químicos formulados en distintos rangos y diferentes comportamientos de su impacto-concentración.

4.5 PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS QUE DETERMINAN LA CALIDAD DEL AGUA APTA PARA EL CONSUMO HUMANO

De acuerdo con el Índice de Calidad del Agua (ICA 1970) los parámetros físico-químicos que se evalúan para determinar si el agua es apta para el consumo humano son:

- **Oxígeno disuelto:** es la cantidad de oxígeno que se encuentra disuelto en el agua. Incide en una gran parte de los procesos biológicos y químicos de la vida acuática y puede usarse como un indicador de contaminación orgánica y de la capacidad de autodepuración de las corrientes¹⁹
- **pH:** Se define como la medición de alcalinidad o acidez del agua. El valor aceptable para el consumo humano varía entre 6.5 a 8.5. Las aguas que presentan gran acidez tienen la capacidad de disolver algunos metales como el cobre y el zinc que tienen un impacto muy negativo en la salud humana²⁰.
- **DBO:** es la cantidad de oxígeno que consumen los microorganismos, un aumento en la cantidad de DBO, produce impactos negativos en la salud, por

¹⁷ MINAMBIENTE, Disponible en: [https://www.minambiente.gov.co/gestion-integral-del-recurso-hidrico/calidad/18SAMBONÍ N. Aplicación de los indicadores de calidad y contaminación del agua en la determinación de la oferta hídrica neta. Revista de Ingeniería y Competividad, 20 de marzo 2011, Pág. 49-60](https://www.minambiente.gov.co/gestion-integral-del-recurso-hidrico/calidad/18SAMBONÍ%20N.%20Aplicación%20de%20los%20indicadores%20de%20calidad%20y%20contaminación%20del%20agua%20en%20la%20determinación%20de%20la%20oferta%20hídrica%20neta.%20Revista%20de%20Ingeniería%20y%20Competividad,%2020%20de%20marzo%202011,%20Pág.%2049-60)

¹⁹ COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. diciembre de 2017, Pág. 17

²⁰ PERES, Esteban, Control de calidad en aguas para consumo humano en la región occidental de Costa Rica, 2016, Pág. 6

consumo directo o indirecto del agua²¹

- **Nitratos:** son sustancias solubles, compuestos por nitrógeno y oxígeno. Su uso predominante se encuentra en la industria de los fertilizantes y su consumo en altas cantidades genera afectaciones en la salud²².
- **Temperatura:** se define como la energía cinética de las moléculas de hidrógeno y oxígeno que conforman al agua. Este parámetro tiene incidencia en otros factores como la demanda biológica de oxígeno (DBO), el oxígeno disuelto (OD) y la supervivencia de algunas especies²³
- **Turbidez:** es el indicador de transparencia del agua. Entre más sólidos suspendidos tenga el líquido, mayor será la turbidez²⁴
- **Sólidos disueltos totales:** son el porcentaje de residuo seco compuesto por pequeñas cantidades de materia orgánica y sales inorgánicas que se encuentran disueltas en el agua²⁵.
- **Fosfatos:** son compuestos de fósforo y oxígeno que al igual que los nitratos se encuentran en los fertilizantes y productos usados en el sector agropecuario²⁶.
- **Coliformes fecales:** Son grupos de microorganismos que se usan como indicadores para la evaluación de la calidad de agua determinando la contaminación fecal. Su consumo tiene impactos negativos en la salud de animales y personas.²⁷

4.6 ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA 1970)

El índice de calidad del agua (ICA) es un instrumento, que sirve para la planificación ambiental de las fuentes de agua. Este índice fue propuesto en 1970 por Horton y su propósito es servir como indicador de la condición del agua y establecer la presencia o ausencia de contaminación involucrando acciones de monitoreo y

21 ECOFLUIDOS INGENIEROS S.A, Estudio de la calidad de fuentes utilizadas para consumo humano y plan

22 BOLAÑOS, Diego, CORDERO, Gloriana, Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela

23 PENCHASZADEH, Ecología del ambiente marino costero de Punta Morón (Termoeléctrica Planta Centro, Venezuela) Fase II Univ. Simón Bolívar, INTECMAR, Caracas, 1983, Pág. 464

24 OVIEDO, 'Contaminación e Ingeniería Ambiental', J.L. Bueno, H. Sastre y A.G. Lavín, FICYT, 03 marzo de 1997

25 ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, Conditions of our water

26 Ibid, Pág 56

27 Ibid., p 426

valoración.^{28,29}

En otras palabras, el ICA, es un método simple, conciso, que permite observar la variación espacio-temporal, y la evaluación de la calidad del agua, para expresarla en un número. Para esto se tiene en cuenta el análisis de los parámetros físico-químicos de este recurso.

El ICA ha sido adaptado por diferentes países y ha permitido la evaluación del recurso hídrico, por medio de un modelo sistemático que permite incorporar los componentes de un sistema sostenible³⁰. En este caso se utilizó como referencia e ICA NSF desarrollado en Estados Unidos en 1970. Este ha sido ampliamente validado y adoptado por diferentes estudios alrededor del mundo y toma en cuenta 9 parámetros físico-químicos como se puede observar en la Tabla 4.

Tabla 4. Parámetros físico-químicos evaluados en el Índice de Calidad NSF 1970

Índice de Calidad NSF 1970
Parámetro
OD
pH
DBO
Nitratos
Coliformes fecales
Temperatura
Turbiedad
Solidos Disueltos Totales
Fosfatos

Fuente: Autores.

Dependiendo del uso que se pretende dar al recurso, también se asigna un peso o ponderación a cada parámetro y que permite observar su incidencia con el índice.³¹ En la Tabla 5, se puede observar el peso (W) asignado a cada uno de los parámetros físico-químicos en el Índice de Calidad NSF1970.

28 García, M. Variabilidad climática, cambio climático y el recurso hídrico en Colombia. Revista de Ingeniería, 24 de agosto de 2012, Pág. 60-64

29 RODRÍGUEZ Juan Pablo, y MOSQUERA, Jorge; Índices de calidad en cuerpos de agua superficiales en la planificación de los recursos hídricos, 1 de julio de 2016. [Artículo en línea]. Disponible desde internet en: <<https://www.proquest.com/scholarly-journals/indices-de-calidad-en-cuerpos-agua-superficiales/docview/1999164553>>

30 Ibid., p 162

31 HERNAN Camilo y TORRES Patricia; 05 de octubre de 2009. Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. una revisión crítica [Artículo en línea] Disponible en internet en: <<http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v8n15s1/v8n15s1a09.pdf>>

Tabla 5. Peso asignado a los parámetros físico-químicos en Índice de Calidad NSF 1970

G	
Parámetro	W
OD	0.17
pH	0.11
DBO	0.11
Nitratos	0.10
Coliformes fecales	0.16
Temperatura	0.10
Turbiedad	0.08
Solidos Disueltos Totales	0.07
Fosfatos	0.10
Total	100%

Fuente: Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano HERNAN Camilo y TORRES Patricia³².

El cálculo del Índice de calidad se basa en la normalización de los parámetros físico-químicos previamente mencionados, para su futura ponderación de acuerdo con el peso asignado en la evaluación de la calidad del agua. La ecuación para este índice se muestra en la Ecuación 1.

Ecuación 1. Cálculo de ICA

$$ICAm = \prod_{i=1}^n I_i W_i \quad (1)$$

Fuente: IDEAM. 2022.

Donde el promedio geométrico ponderado:

Wi: peso o porcentaje asignado al i-ésimo parámetro

Ii: subíndice de i-ésimo parámetro.

Para la determinación del subíndice de cada parámetro se deben tener en cuenta las siguientes curvas, los siguientes criterios y las siguientes ecuaciones tomadas de la corrección realizada en el estudio Análisis Comparativo de indicadores de la calidad de agua superficial realizado por Jiménez & Vélez (2006).

Cuando el valor de pH es menor o igual a 2, el subíndice es igual a 2, si el valor de pH se encuentra entre 2 y 7.5, el subíndice debe determinarse con la ecuación 2, si el valor de pH se encuentra entre 7.5 y 10, el subíndice debe determinarse con la ecuación 3 y si el valor del pH se encuentra por encima de 10, el subíndice será igual a 3.

³² Ibid., p7

Ecuación 2. Subíndice $2 < \text{pH} < 7.5$

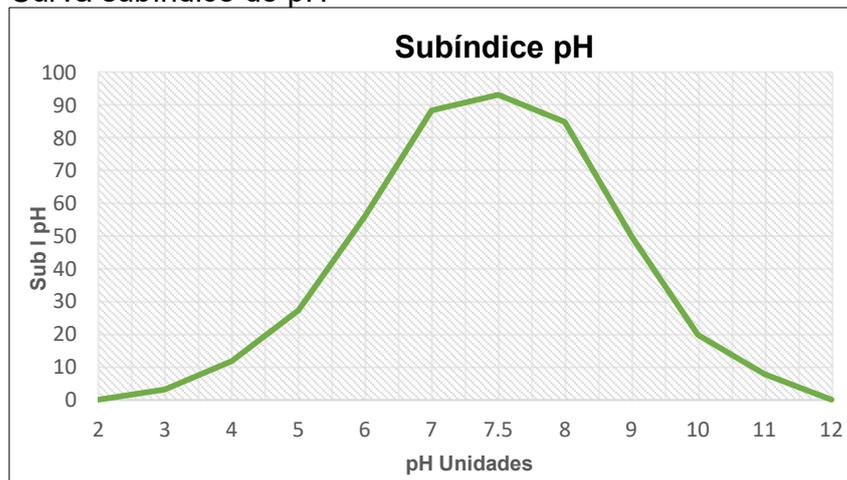
$$\text{SubIpH} = -0,1789 * \text{pH}^5 + 3,793 * \text{pH}^4 - 30,517 * \text{pH}^3 + 119,75 * \text{pH}^2 - 224,58 * \text{pH} + 159,46 \quad (2)$$

Ecuación 3. Subíndice $7.5 < \text{pH} < 10$

$$\text{SubIpH} = -1,11429 * \text{pH}^4 + 44,50952 * \text{pH}^3 - 656,6 * \text{pH}^2 + 4215,34762 * \text{pH} - 9840,14286 \quad (3)$$

Los valores del subíndice de pH también pueden determinarse gráficamente en la curva Figura 14.

Figura 14. Curva subíndice de pH



Fuente: Autores.

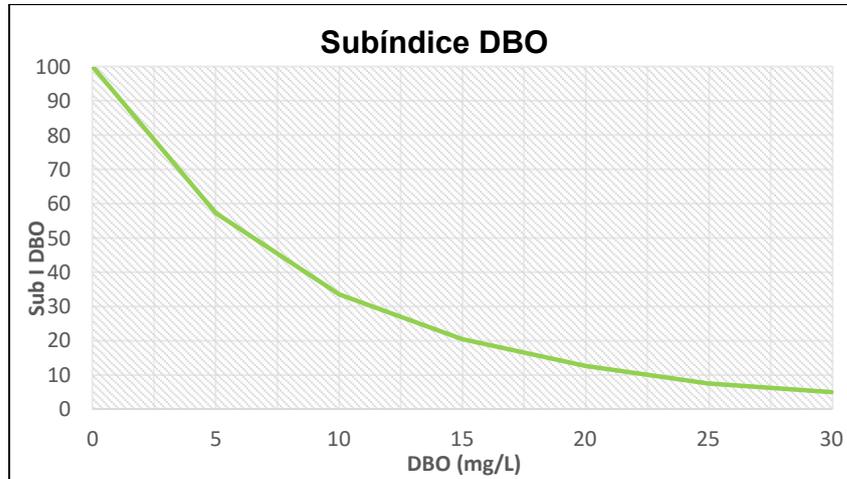
Si el valor de DBO es mayor a 30 mg/L el subíndice es igual a 2, si el valor de DBO es menor a 30 mg/L, el subíndice debe determinarse con la ecuación 4.

Ecuación 4. Ecuación de cálculo del subíndice DBO

$$\text{SubIDBO} = 1,8677 * 10^{-4} * \text{DBO}^4 - 1,6615 * 10^{-2} * \text{DBO}^3 + 5,9636 * 10^{-1} * \text{DBO}^2 - 1,1152 * 10^1 * \text{DBO} + 1,0019 * 10^2 \quad (4)$$

El valor del subíndice de DBO también puede determinarse gráficamente en la curva Figura 15.

Figura 15. Curva subíndice de DBO



Fuente: Autores.

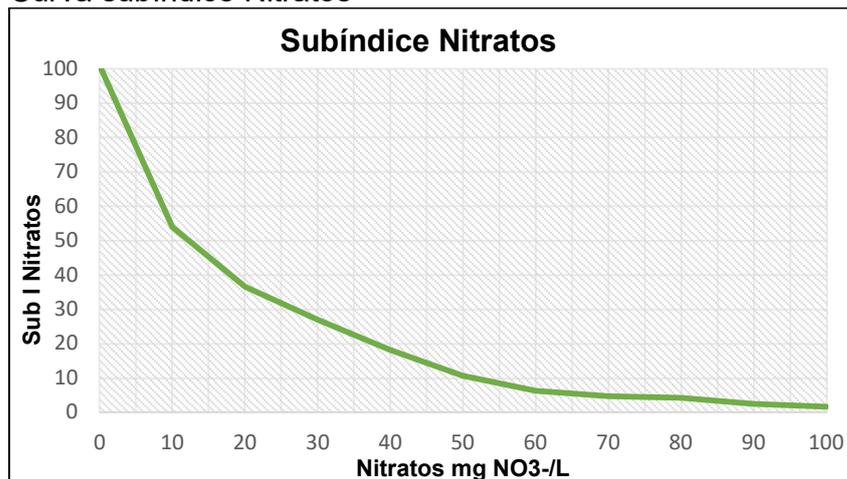
Si el valor en nitratos es mayor a 100 mg/L el subíndice es igual a 2, si el valor en nitratos es menor a 100 mg/L, el subíndice debe determinarse con la ecuación 5.

Ecuación 5. Ecuación de cálculo del subíndice nitratos

$$SubINit = 3,5603 \cdot 10^{-9} \cdot NIT^6 - 1,2183 \cdot 10^{-6} \cdot NIT^5 + 1,6238 \cdot 10^{-4} \cdot NIT^4 - 1,0693 \cdot 10^{-2} \cdot NIT^3 + 3,7304 \cdot 10^{-1} \cdot NIT^2 - 7,521 \cdot NIT + 1,0095 \cdot 10^2 \quad (5)$$

El valor del subíndice de Nitratos también puede determinarse gráficamente en la curva Figura 16.

Figura 16. Curva subíndice Nitratos



Fuente: Autores.

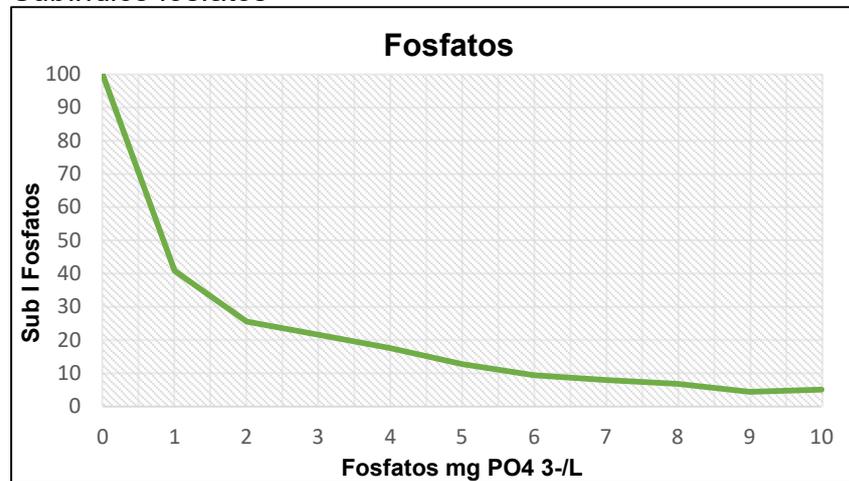
Si el valor en fosfatos es mayor a 10 mg/L el subíndice es igual a 5, si el valor en nitratos es menor a 10 mg/L, el subíndice debe determinarse con la ecuación 6.

Ecuación 6. Ecuación de cálculo de subíndice Fosfatos

$$\begin{aligned} SubIFos = & 4,6732 * 10^{-3} * FOS^6 - 1,6167 * 10^{-1} * FOS^5 + 2,20595 * FOS^4 \\ & - 1,50504 * 10^1 * FOS^3 + 5,38893 * 10^1 * FOS^2 - 9,98933 \\ & * 10^1 * FOS + 9,98311 * 10^1 \end{aligned} \quad (6)$$

El valor del subíndice de fosfatos también puede determinarse gráficamente en la curva Figura 17.

Figura 17. Subíndice fosfatos



Fuente: Autores.

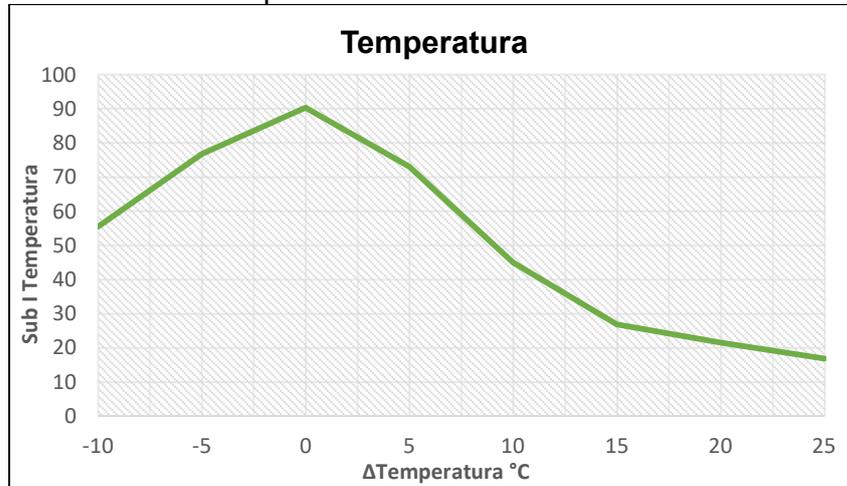
En el caso de la temperatura, se determina la diferencia entre la temperatura ambiente y la temperatura de la muestra, con este resultado se determina el valor del subíndice de la temperatura por medio de la Ecuación 7.

Ecuación 7. Cálculo subíndice de temperatura

$$\begin{aligned} SubI\Delta T = & 1,9619 * 10^{-6} * \Delta T^6 - 1,3964 * 10^{-4} * \Delta T^5 + 2,5908 * 10^{-3} \\ & * \Delta T^4 + 1,5398 * 10^{-2} * \Delta T^3 - 6,7952 * 10^{-1} * \Delta T^2 - 6,7204 \\ & * 10^{-1} * \Delta T + 9,0392 * 10^1 \end{aligned} \quad (7)$$

El valor del subíndice de temperatura también puede determinarse gráficamente en la curva Figura 18.

Figura 18. Subíndice de Temperatura



Fuente: Autores.

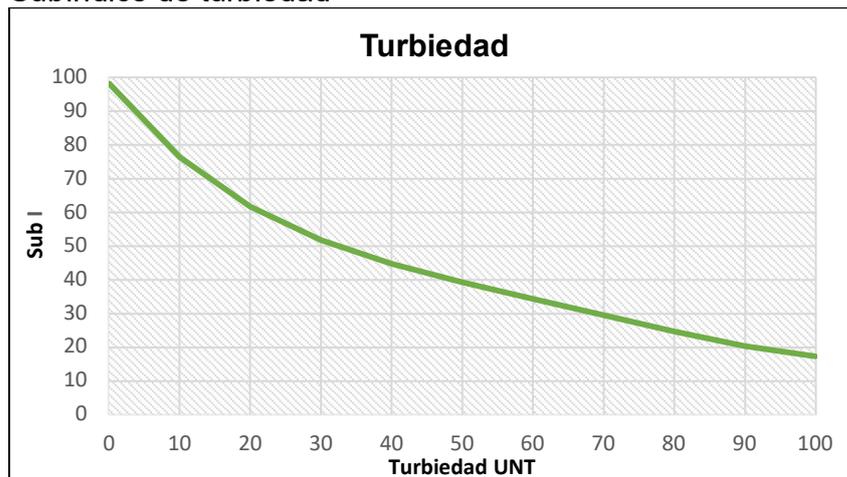
Si el valor en turbiedad es mayor a 100 UNT el subíndice es igual a 5, si el valor en nitratos es menor a 100 UNT, el subíndice debe determinarse con la Ecuación 8.

Ecuación 8. Cálculo de Subíndice turbiedad

$$SubITur = 1,8939 * 10^{-6} * TUR^4 - 4,9942 * 10^{-4} * TUR^3 + 4,9181 * 10^{-2} * TUR^2 - 2,6284 * TUR + 9,8098 * 10^1 \quad (8)$$

El valor del subíndice de fosfatos también puede determinarse gráficamente en la curva Figura 19.

Figura 19. Subíndice de turbiedad



Fuente: Autores.

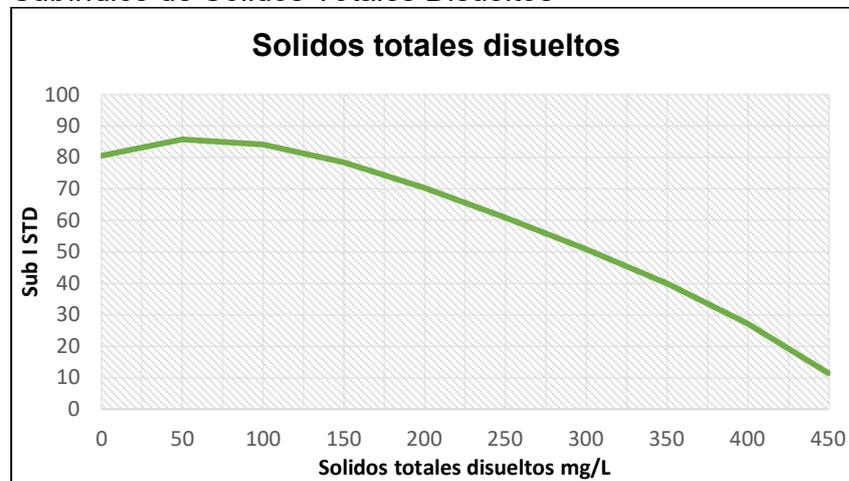
Si el valor de solidos disueltos es mayor a 500 mg/L el subíndice es igual a 3, si el valor en nitratos es menor a 500 mg/L, el subíndice debe determinarse con la Ecuación 9.

Ecuación 9. Cálculo de subíndice Solidos Totales Disueltos

$$SubISD = -4,4289 * 10^{-9} * SD^4 + 4,65 * 10^{-6} * SD^3 - 1,9591 * 10^{-3} * SD^2 + 1,8973 * 10^{-1} * SD + 8,0608 * 10^1 \quad (9)$$

El valor del subíndice de solidos disueltos también puede determinarse gráficamente en la curva Figura 20.

Figura 20. Subíndice de Solidos Totales Disueltos



Fuente: Autores.

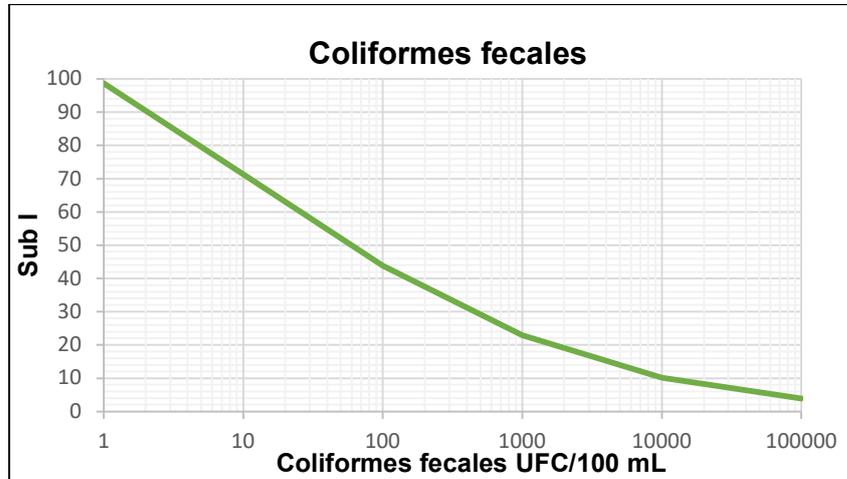
Si el valor de coliformes fecales es mayor a 100,000 Bact/100 ml el subíndice es igual a 3, si el valor de coliformes fecales es menor a 100,000 Bact/100 ml, el subíndice debe determinarse con la Ecuación 10.

Ecuación 10. Cálculo de subíndice coliformes fecales

$$SubICol = e^{-0.0152 * (\ln(Col))^2 - 0.1063 * (\ln(Col)) + 4.5922} \quad (10)$$

El valor del subíndice de coliformes fecales también puede determinarse gráficamente en la curva

Figura 21. Subíndice Coliformes Fecales



Fuente: Autores.

Para el caso del oxígeno disuelto se debe tener en cuenta la temperatura de la muestra. En la Tabla 6, se puede observar la concentración de oxígeno disuelto equivalente a una saturación del 100%.

Tabla 6. OD por grado de saturación

Temperatura (°C)	(OD) mg /L	Temperatura (°C)	(OD) mg /L
0	14.6	16	9.9
1	14.2	17	9.7
2	13.8	18	9.6
3	13.5	19	9.3
4	13.1	20	9.1
5	12.8	21	8.9
6	12.5	22	8.7
7	12.1	23	8.6
8	11.8	24	8.4
9	11.6	25	8.3
10	11.3	26	8.1
11	11.0	27	8.0
12	10.8	28	7.8
13	10.5	29	7.7
14	10.3	30	7.6
15	10.1	31	7.5

Fuente: State Water Resources Control Board. Oxígeno Disuelto. 2022.

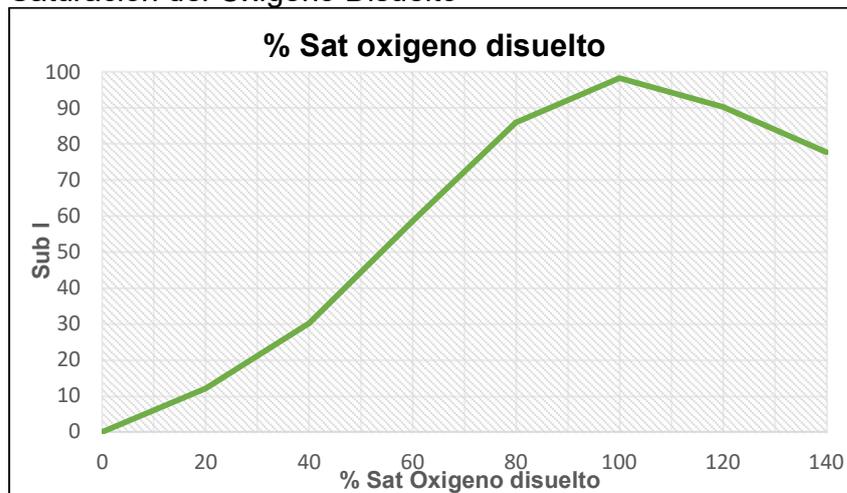
Teniendo este valor de oxígeno disuelto, determinamos el porcentaje de saturación de la muestra. El valor del ICA, permite clasificar el agua, a partir de los rangos definidos como se observa a continuación en la Figura 22. Si el valor de saturación es mayor del 140% subíndice es igual a 47, si el valor de saturación es menor a 140 %, el subíndice debe determinarse con la Ecuación 11.

Ecuación 11. Cálculo de ICA con Saturación mayor a 14'

$$SubISat = 3,1615 * 10^{-8} * Sat^5 - 1,0304 * 10^{-5} * Sat^4 + 1,0076 * 10^{-3} * Sat^3 - 2,7883 * 10^{-2} * Sat^2 + 8,4068 * 10^{-1} * Sat - 1,612 * 10^{-1} \quad (11)$$

El valor del subíndice de saturación también puede determinarse gráficamente en la curva Figura 22.

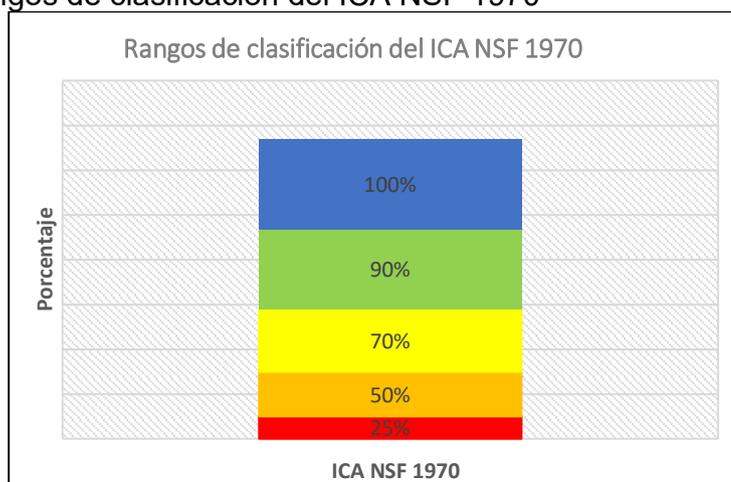
Figura 22. Saturación del Oxígeno Disuelto



Fuente: Autores.

Luego de determinar el promedio geométrico ponderado, se pueden clasificar las muestras de agua como se observa en el Figura 23.

Figura 23. Rangos de clasificación del ICA NSF 1970



Fuente: Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano HERNAN Camilo y TORRES Patricia.

En la Tabla 7, se presentan los rangos de clasificación para el Índice de calidad NSF 1970.

Tabla 7. Clasificación ICA NSF 1970

Rango	Clasificación ICA NSF 1970
1. 0-25%	Muy mala calidad
2. 25-50%	Mala calidad
3. 50-70%	Mediana calidad
4. 70-90 %	Buena calidad
5 90-100%	Excelente calidad

Fuente: Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano HERNAN Camilo y TORRES Patricia.

- Las muestras que se encuentran un rango de 90%- 100%, son consideradas como agua de excelente calidad con una gran diversidad de la vida acuática. Es apta para cualquier forma de contacto directo, ya que es muy similar al agua pura, no contiene ningún agente contaminante y no requiere tratamiento.
- Las muestras que se encuentran en un rango de 70%-90%, son consideradas como agua de buena calidad, aunque contienen algunos contaminantes y requerirían de un tratamiento leve.
- Las muestras de agua que se encuentran en un rango de 50%-70% son consideradas como agua de mediana calidad, tiene menor diversidad de vida acuática, contiene diversos contaminantes y necesita un tratamiento potabilizador para el consumo humano
- Las muestras de agua que se encuentran en un rango de 25%-50% son consideradas como agua de mala calidad, no son aceptables para el consumo humano y requieren de tratamiento.
- Las muestras de agua que se encuentran en un rango de 0%-25% son consideradas como agua de muy mala calidad, no son aceptables para el consumo humano y no se recomienda el contacto con esta.

4.7 PROCESO DE MUESTREO

El proceso de muestreo tiene como objetivo, establecer las actividades para recolectar las muestras de la fuente de agua que se está evaluando³³, estas muestras deben ser representativas y deben cumplir con los siguientes parámetros:

- Localización: Los criterios de los puntos de la recolección de las muestras

³³ INSTITUTO NACIONAL DE SALUD; 2011. Manual toma de muestras de agua

son los puntos fijos, puntos provisionales y puntos de interés general.

- Métodos y muestras: es importante tener definida la forma en la que se realizara el muestreo, teniendo en cuenta, el personal, el transporte, el presupuesto, la operación y mantenimiento de los equipos, entre otros³⁴.

Las muestras pueden ser manuales, estas se realizan cuando se tienen sitios de fácil acceso, este muestreo permite al personal observar los cambios en las características de la muestra.

Las muestras automáticas se realizan cuando se tienen sitios de difícil acceso y se cuenta con un muestreador automático, estas muestras tienen más precisión, pero el equipo requiere de montaje y calibración.

El muestreo mixto es un sistema integrado que posibilita la verificación de resultados manuales y automáticos.

- Orden del muestreo: Las muestras deben satisfacer las siguientes condiciones:

Deben ser representativas de la fuente que se está evaluando, y debe tener la cantidad suficiente para el análisis de sus parámetros.

La concentración del agua no debe modificarse.

El pH y el cloro residual se deben analizar en el sitio del muestreo y para el análisis del resto de parámetros físico-químicos se deben enviar las muestras al laboratorio.

- Documentación del muestreo: al realizar la toma de muestras se debe registrar la siguiente información:

Nombre y ubicación del sitio
Latitud, longitud y altitud del sitio
Fecha y hora de toma de muestra
Condiciones del tiempo durante el muestreo
Descripción de las condiciones del sitio
Color, olor del agua
Caridad del agua

- Recipientes para exámenes físico-químicos: pueden ser de vidrio neutro ya que este material tiene la capacidad de adsorber trazas de metales, o pueden ser de plástico, estos se recomiendan cuando se van a determinar sustancias

34 Ibid.; p 29

inorgánicas a la muestra.

- Recipientes para exámenes microbiológicos: pueden ser de plástico o vidrio esterilizable, deben ser de boca ancha, tapa protectora y cubiertos con una tela o papel resistente para proteger la muestra.

Recipientes de vidrio y plástico pueden ser utilizados para la recolección de muestras de las cuales se analizarán los siguientes parámetros: turbiedad, pH, nitratos, temperatura, DBO.

- Recipientes únicamente de vidrio deben ser utilizados para muestras en las que se realizará los análisis coliformes fecales.

4.8 REGLAMENTACIÓN INTERNACIONAL

No existe una reglamentación universal que regule el uso del agua a nivel global. Sin embargo, entidades como la Organización Mundial de la Salud (OMS) han generado guías y prácticas de buen uso en donde refieren las condiciones más óptimas para el tratamiento y uso de agua. Entre estas guías se tiene la emitida en el año 2008 que establece los requisitos necesarios para garantizar la inocuidad del agua, incluidos los procedimientos mínimos, valores de referencia específicos, modo de aplicación, métodos de cálculo, métodos utilizados para garantizar la inocuidad microbiana.

4.9 REGLAMENTACIÓN EN COLOMBIA

La reglamentación de la calidad de agua en Colombia, está institucionalizada en diferentes niveles del estado colombiano. Está diseñada de tal manera que sea objeto de supervisión y vigilancia por parte de las autoridades de salud. En la Tabla 8, se listan las normas establecidas y su órgano emisor que se encuentran vigentes en términos de evaluación y verificación de la calidad de agua para consumo humano.

Tabla 8. Listado de la normatividad aplicada

Ley – Decreto – Resolución	Órgano Emisor	Nombre
Ley 142 de 1994	Congreso De La Republica	Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones
Resolución 2115 de 2007	Ministerio de Protección Social – Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano
Decreto 1575 de 2007	Ministerio de la Protección Social	Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano

Ley – Decreto – Resolución	Órgano Emisor	Nombre
Resolución 1303 de 2008	Ministerio de Protección Social	Por la cual se adopta un método para análisis microbiológico de aguas para consumo humano validado por el instituto nacional de salud
Manual de toma de muestras de 2011	Instituto Nacional de Salud	Manual de Instrucciones para la toma, preservación y transporte de Muestras de Agua de Consumo Humano para análisis de Laboratorio
Resolución 0330 de 2017	Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio	Por el cual se adopta el reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico,
Resolución 4716 de 2010	Ministerio de la Protección Social – Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	En esta se relacionan las condiciones mínimas que deben cumplir los mapas de riesgo de la calidad del agua para consumo humano
Resolución 549 de 2017	Ministerio de Vivienda, Ciudad, y Territorio	Por la cual se adopta la guía que incorpora los criterios y actividades mínimas de los estudios de riesgo, programas de reducción de riesgo y planes de contingencia de los sistemas de suministro de agua para consumo humano y se dictan otras disposiciones

Fuente: Autores.

4.10 ESTUDIOS PREVIOS DE CALIDAD SOBRE LA MISMA FUENTE

Teniendo en cuenta la importancia hídrica que tiene el Río Chicamocha por su gran extensión, se han realizado algunos estudios correspondientes a la calidad del agua de esta fuente. En este caso, en el Plan de Ordenamiento y Manejo Ambiental (POMCA) de la Parte Alta de la Cuenca del Río Chicamocha se desarrolló un análisis por parte de la universidad de Antioquía el cual evalúa las condiciones a lo largo de la cuenca. Puntualmente para el área de estudio que se está evaluando en este proyecto, se identificó un estudio realizado por la empresa de acueducto de Paipa, Red Vital.

4.10.1 POMCA

De acuerdo al POMCA de la Parte Alta de la Cuenca del Río Chicamocha, existe una ausencia de información permanente, sistemática y prolongada en el tiempo correspondiente al análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de esta fuente hídrica. Por lo tanto, existe también una ausencia de la evaluación la calidad y las condiciones del agua. Por esta razón, con el fin de realizar un análisis del río, el POMCA utilizó el estudio denominado: Estado de la Calidad del Agua del Recurso Hídrico Superficial en la Cuenca Alta del Río Chicamocha presentado en 1999 y en el que realizaron muestreos frecuentes a lo largo de un año.

Este estudio se basó en el decreto 1594 del 26 de junio de 1984 correspondiente a

usos del agua, que determina que los parámetros básicos para determinar la calidad del agua son amoníaco, cloruros, nitratos, nitritos, pH, sulfatos, coliformes totales y coliformes fecales. Con base en el análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, el agua se puede clasificar para el consumo humano en cuatro grupos:

- A1: Aguas potabilizables que necesitan un tratamiento físico sencillo con el fin de que sean aptas para el consumo.
- A2: Aguas potabilizables que necesitan un tratamiento fisicoquímico.
- A3: Aguas potabilizables que necesitan un tratamiento adicional.
- A4: Aguas de que no pueden ser utilizadas para el consumo humano.

En la Tabla 9, se presentan el promedio de los valores obtenidos por medio de los análisis de los parámetros durante un periodo de muestreo de abril de 1998 a febrero de 1999, para el sector de Termopaipa, correspondiente al área de estudio de este proyecto:

Tabla 9. Datos históricos 1998 - 1999, estación Termopaipa

Parámetro	Resultado
DBO5 (mg/l)	2.88
DQO (mg/l)	16.30
OD (mg/l)	5.81
Saturación O %	78%
NH3 (mg/l)	0.43
NO (mg/l)	0.49
NO2 (mg/l)	0.01
NO3 (mg/l)	0.17
Psol (mg/l)	0.08
SST (mg/l)	16.53
Conductividad μ mhos/cm.	179.60
pH	6.94
Coliformes totales	160.000

Fuente: POMCA

De acuerdo con los resultados del análisis de los parámetros previamente mencionados, la universidad de Antioquía determinó que el agua del Río Chicamocha no es apta para el consumo humano y representa a su vez un riesgo para el uso agrícola. De esta manera se realizó clasificación de la fuente como A4.

4.10.2 Empresa De Acueducto De Paipa, Red Vital

La empresa de acueducto del casco urbano del municipio de paipa realizó un

estudio analizando los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos al Río Chicamocha con el fin de sectorizar hidráulicamente las redes de acueducto. Por esta razón se realizaron diferentes muestreos en dos puntos del casco urbano entre el 26 de noviembre de 2020 y el 09 de diciembre de 2020 y cuyos promedios se pueden observar en las tablas 10 y 11.

Tabla 10. Análisis de laboratorio efectuado N: 5° 46' 01"; W: 73° 06' 27"

Parámetro	Resultado
Conductividad (microsiemens/cm)	240
pH (unidades)	6.43
Temperatura (°C)	17.6
Oxígeno disuelto (mg/LO ₂)	3.68
Alcalinidad total (mg CaCO ₃ /L)	40.11
DQO (mg/LO ₂)	31
DBO ₅ (mg/LO ₂)	13
Nitratos (mg NO ₃ -/L)	<0.35
Nitritos (mg NO ₃ -/L)	0.217
Nitrógeno amoniacal (mg NO ₃ -/L)	2.35
Nitrógeno Orgánico total (mg N/L)	0.12
Nitrógeno total (mg N/L)	<6.0
Ortofosfatos (mg P-PO/L)	0.23
Sulfatos (mg SO ₄ /L)	37.92
Solidos suspendidos totales (mg SST/L)	22
Fosfatos (mg PO ₄ 3-/L)	0.71
Coliformes totales (NMP/100ml)	49x10 ²
Coliformes fecales (NMP/100ml)	49x10 ²

Fuente: Red Vital Paipa S.A. E.S.P.

Tabla 11. Análisis de laboratorio efectuado N: 5° 46' 04"; W: 73° 06' 29"

Parámetro	Resultado
Conductividad (microsiemens/cm)	237
pH (unidades)	6.40
Temperatura (°C)	18.8
Oxígeno disuelto (mg/LO ₂)	3.66
Alcalinidad total (mg CaCO ₃ /L)	32.55
DQO (mg/LO ₂)	19
DBO ₅ (mg/LO ₂)	10
Nitratos (mg NO ₃ -/L)	2.67
Nitritos (mg NO ₃ -/L)	0.10
Nitrógeno amoniacal (mg NO ₃ -/L)	1.47
Nitrógeno Orgánico total (mg N/L)	1.47
Nitrógeno total (mg N/L)	<6.0
Ortofosfatos (mg P-PO/L)	0.18
Sulfatos (mg SO ₄ /L)	26.82
Solidos suspendidos totales (mg SST/L)	19
Fosfatos (mg PO ₄ 3-/L)	0.56

Parámetro	Resultado
Coliformes totales (NMP/100ml)	4×10^2
Coliformes fecales (NMP/100ml)	2×10^2

Fuente: Red Vital Paipa S.A. E.S.P

5 METODOLOGÍA

Teniendo en cuenta que se está buscando una nueva fuente de abastecimiento de agua en el municipio de Paipa que pueda suplir las necesidades de la población, se realizó la evaluación de la calidad del agua en dos puntos de muestreo ubicados en el sector de Maguncia, el cual se caracteriza por su gran desarrollo industrial y en el casco urbano del municipio. El proyecto que tuvo una duración de 5 meses y la metodología empleada se describe a continuación:

FASE I RECONOCIMIENTO:

- Fisiográfico: durante esta fase se recopiló toda la información de la cuenca alta del Río Chicamocha y se realizó la revisión bibliográfica.
- De la fuente hídrica: se realizaron 5 visitas de campo, para hacer un reconocimiento de la fuente hídrica, del desarrollo industrial y agrícola y se establecieron los parámetros a analizar y el índice a utilizar para la evaluación de la calidad del agua.

FASE II PLANEACIÓN

- Se realizó el análisis de las variables, recorridos, instrumentos, herramientas y procesos de tomas de las muestras que se tuvieron en cuenta para el desarrollo del proyecto.

FASE III EJECUCIÓN

- Durante esta fase se obtuvieron las características del agua del Río Chicamocha. Para esto se realizó la toma de muestras de agua en los dos puntos de muestreo en una sola ocasión, se realizó la georreferenciación de los puntos en los que se tomaron las muestras y se desarrollaron los ensayos en el laboratorio.
- Para el proceso de muestreo se seleccionó un lugar que no presentara turbulencia ni material vegetal flotante.
- En el caso de la toma de las muestras microbiológicas, se emplearon vidrios estériles de 100 ml de capacidad. Se usaron guantes y tapabocas, se tomaron las muestras sumergiendo los recipientes a una profundidad de 30 cm y se rotularon las muestras.
- Para la toma de muestras fisicoquímicas se usaron los recipientes de plástico, con una capacidad de 4 L, Se llenaron los recipientes hasta el tope, se rotularon las muestras y se conservaron en refrigeración de 4 ± 2 °C hasta su llegada al laboratorio.

El registro fotográfico del muestreo se relaciona en el anexo II, llamado “Registro Fotográfico de la jornada de muestreo”

FASE IV INTERPRETACIÓN Y EVALUACIÓN

- En esta fase se interpretaron los resultados obtenidos en el laboratorio Serviquímicos E U el cual cumple con los requisitos de la NTC ISO/IEC 17025 y con base en esto, se realiza en cálculo del Índice de Calidad NSF 1970.

FASE V ANÁLISIS DE RESULTADOS

- En esta fase se realizó el análisis de los resultados obtenidos en el cálculo del Índice de Calidad NSF 1970.

5.1 INSTRUMENTOS O HERRAMIENTAS UTILIZADAS

Con el fin de realizar la evaluación de la calidad del agua en el sector se utilizó información obtenida del Plan de ordenamiento hídrico de la Cuenca Alta del Río Chicamocha.

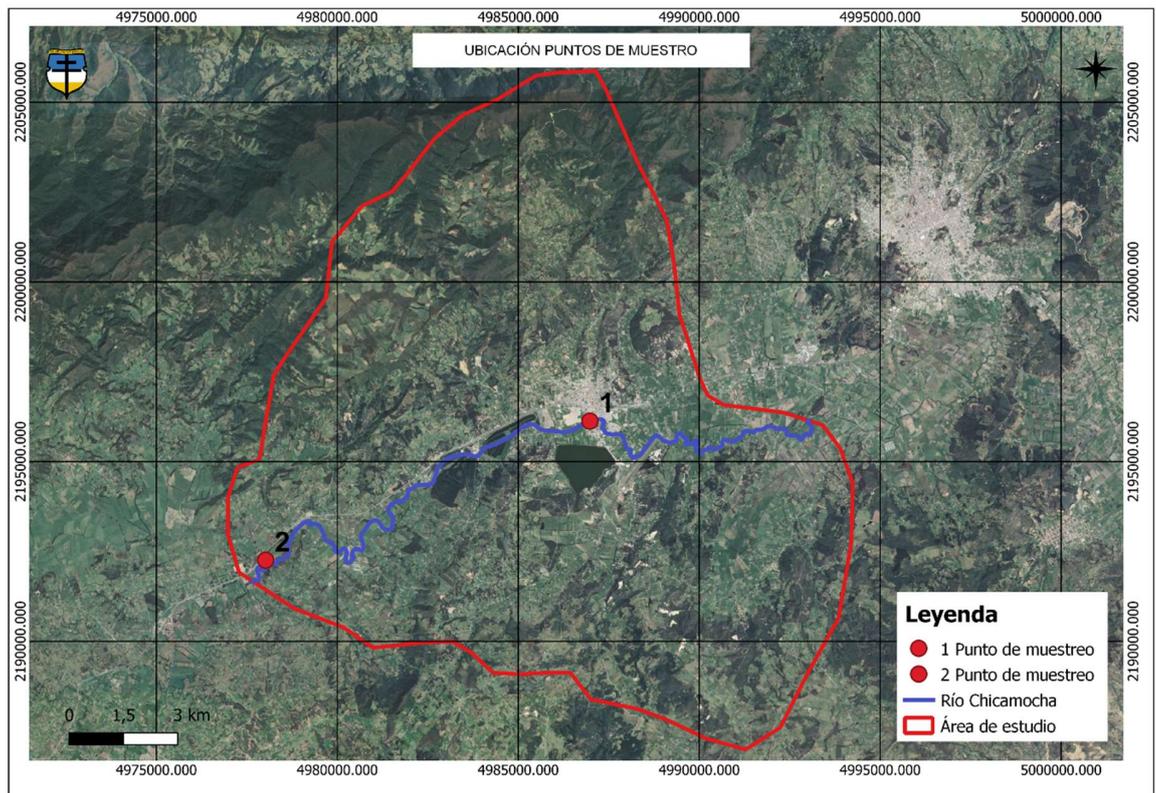
Los materiales para la recolección de muestras fueron recipientes de vidrio y plástico, guantes de caucho estériles y tapabocas.

Para la ubicación de los puntos de muestreo se hizo uso del Software QGIS.
Para el cálculo de los índices de calidad se hizo uso el programa computacional de Excel.

6 PUNTOS DE MUESTREO

Se consideraron 2 puntos de muestreo que permitieran establecer el cambio en el comportamiento de la calidad del agua en función al desarrollo aguas abajo del cauce. En este sentido se seleccionaron los puntos ilustrados en la siguiente Figura 24.

Figura 24. Localización de los puntos de muestreo



Fuente: Autores.

6.1 DESCRIPCIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO

En la Tabla 12, se puede observar la descripción de los puntos de muestreo.

Tabla 12. Descripción de los puntos de muestreo

Parámetro	Punto 1	Punto 2
Nombre y ubicación del sitio	Puente de Colegio Armando	Ladrillos Maguncia
Latitud / Altitud	5.774517	5.7370749
Longitud	73.118633	73.200872
Altitud	2494 msnm	2534 msnm
Fecha y hora de toma de muestra	Abril 07 de 2022. 8:26 AM	Abril 07 de 2022. 9:06 AM
Condiciones del tiempo durante el	Tiempo seco	Tiempo seco

Parámetro	Punto 1	Punto 2
muestreo		
Descripción de las condiciones del sitio	Sitio con laderas de gran pendiente, baja turbulencia en la corriente.	Sitio con presencia de vegetación y árboles de hasta 15 m. Sector con pendiente media
Claridad del agua	Agua con turbiedad	Agua con turbiedad

Fuente: Autores.

6.2 PUNTO DE MUESTREO N°1

El primer punto de muestreo (PM-1) que se puede observar en la Figura 25, se encuentra en el sector conocido como “Puente del colegio Armando Solano” ubicado en la zona intermedia del casco urbano del municipio de Paipa. En esta zona se puede apreciar el ancho más significativo del cauce en la zona de estudio. En este sector se presentan algunos vertimientos puntuales provenientes de zonas residenciales que se han desarrollado en las riberas del río.

Figura 25. Vista general del punto de muestreo 1



Vista desde el puente

Vista desde la desembocadura de la quebrada Valenci

Fuente: Autores.

6.2.1 Características hidrográficas del PM-1

Sobre este punto confluye la quebrada “Valenci” que recoge la escorrentía de las aguas lluvias de gran parte del casco urbano del municipio. Esta quebrada está canalizada en concreto como se aprecia en la Figura 25 y presenta un punto de descarga de una zona de socavación previa a la canalización del canal. Igualmente, al sector confluye la quebrada “El Rosal” la cual no está completamente canalizada y recibe una cantidad mayor de flujo considerando que conduce las aguas de la zona más amplia y montañosa del casco urbano del municipio.

6.2.2 Características socioeconómicas del PM-1

En el punto de análisis, se tiene un importante desarrollo residencial, comercial e

institucional. En el aspecto residencial, se ha presentado el crecimiento de torres de apartamentos de hasta 8 pisos de altura y viviendas unifamiliares de gran área. En el aspecto comercial, el crecimiento de las unidades habitacionales ha atraído la inversión en centros comerciales de pequeños locales y en cada torre de apartamentos se han desarrollado puntos de comercio como pequeños restaurantes, cafeterías, panaderías, tiendas y minimercados. En el aspecto institucional, se tiene la presencia de instituciones educativas y escenarios deportivos.

6.3 PUNTO DE MUESTREO N°2

El segundo punto de muestreo (PM-2) se puede observar en la Figura 26, el cual está ubicado en una zona conocida como “Maguncia”. En el sitio se localiza un puente desde el cual da acceso a la población del margen derecho del río provenientes de la vía doble calzada que conduce de Paipa a la ciudad de Tunja.

Figura 26. Vista general del punto de muestreo 2



Vista aguas abajo sobre el puente del “Maguncia”



Vista aguas arriba sobre el puente del “Maguncia”

Fuente: Autores.

6.3.1 Características Hidrográficas del PM-2

En el PM-2 no se observan quebradas tributarias cercanas, salvo por los canales de drenaje de cada uno de los cultivos presentes en el área de influencia del río.

6.3.2 Características Socioeconómicas del PM-2

La zona del PM-2 se caracteriza por poseer cierto desarrollo industrial centrado de la producción ladrillera y siderúrgica con la planta de la empresa Diaco. En el sector se desarrolla igualmente una gran actividad agropecuaria, con el cultivo de papa, maíz entre otros cultivos de clima frío y también la cría de ganado para la producción de leche y sus derivados.

7 RESULTADOS Y ANÁLISIS

La información obtenida del análisis de las muestras de agua se relaciona detalladamente en el Anexo I, llamado "Resultados de laboratorio".

Con base en los resultados obtenidos en el laboratorio, se determinó el subíndice de cada parámetro, el subtotal de cada parámetro y el cálculo del ICA NSF para los dos puntos de muestreo como se observa en las siguientes tablas.

La memoria de cálculo se encuentra de forma detallada en el Anexo III.

Tabla 13. Resultados para el punto N°1 de muestreo

Punto 1 de muestreo					
Parámetro	Resultado	Unidades	Q-Valor	Factor de ponderación	Subtotal
Oxígeno disuelto	5.51	mg/L O ₂	52,569	0,17	8,936
pH	6.90	Unidades	86,086	0,11	9,469
DBO	14.0	mg/L O ₂	22,531	0,11	2,478
Nitratos	0.480	mg NO ₃ -/L	97,424	0,1	9,742
Coliformes fecales	1140	UFC/100 mL	21,994	0,16	3,519
Temperatura	19,9	°C	65,887	0,1	6,588
Turbiedad	17.0	UNT	65,333	0,08	5,226
Sólidos Disueltos Totales	82	mg/L	85,356	0,07	5,974
Fosfatos	0.105	mg PO ₄ 3-/L	89,919	0,1	8,991
Puntaje calificación del ICA					60,928

Fuente: Autores.

Tabla 14. Resultados para el punto N°2 de muestreo

Punto 2 de muestreo					
Parámetro	Resultado	Unidades	Q-Valor	Factor de ponderación	Subtotal
Oxígeno disuelto	2.51	mg/L O ₂	17,498	0,17	2,974
pH	7.02	Unidades	88,961	0,11	9,785
DBO	14.0	mg/L O ₂	22,531	0,11	2,478
Nitratos	0.480	mg NO ₃ -/L	97,424	0,1	9,742
Coliformes fecales	1390	UFC/100 mL	20,629	0,16	3,300
Temperatura	19,9	°C	65,887	0,1	6,588
Turbiedad	16	UNT	66,712	0,08	5,336
Sólidos Disueltos Totales	69	mg/L	85,799	0,07	6,005
Fosfatos	0.113	mg PO ₄ 3-/L	89,209	0,1	8,920
Puntaje calificación del ICA					55,134

Fuente: Autores.

En la Tabla 15, se puede observar el resultado del ICA para los dos puntos de muestreo y la clasificación del agua de acuerdo al resultado obtenido.

Tabla 15. Resultado cálculo del índice ICA de cada una de las muestras

Punto de muestreo	Puntaje	Clasificación de la muestra
1	60,928	Mediana calidad
2	55,134	Mediana calidad

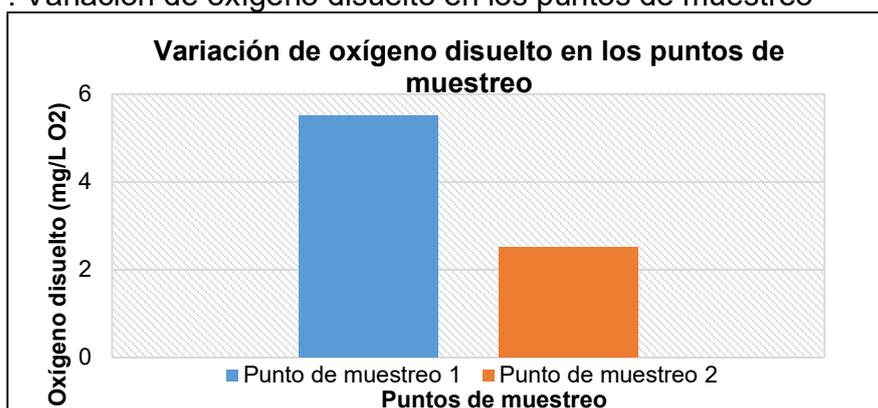
Fuente: Autores.

En la Figura 27, se puede observar que la variación del oxígeno disuelto en los dos puntos de muestreo es importante, siendo mayor en el punto 1. Esto puede darse debido a las diferencias en las condiciones observadas del cauce en términos físicos, el cambio de dirección, velocidad del flujo y ancho de sección que puede favorecer el intercambio de oxígeno con la atmosfera³⁵.

De igual manera, uno de los puntos más importantes del tramo del río en estudio se da al paso por la central termoeléctrica Termopaipa que se puede observar en la figura 28. Esta central tiene unas lagunas de enfriamiento y sus compuertas de llenado y descarga, inciden en los valores de oxígeno disuelto medidos del primer punto de muestreo.

En primer lugar, el intercambio calórico generado en la central de energía, altera el balance local de oxígeno. Las mismas lagunas, al ser cuerpos de baja profundidad, pero de gran área superficial, se benefician del intercambio atmosférico de oxígeno y las compuertas de llenado y descarga favorecen el aumento en el mismo índice. Esto dado por la turbulencia que se presenta aguas abajo, el flujo adquiere oxigenación y, en consecuencia, aumenta el valor del mismo³⁶.

Figura 27. Variación de oxígeno disuelto en los puntos de muestreo



Fuente: Autores.

³⁵ POMCA, Op. Cit. Pág. 642.

³⁶ Ibid. Pág. 642

Figura 28. Localización de las lagunas de enfriamiento de Termopaipa



Fuente: Google Earth. 2022.

En la figura 29, se puede evidenciar que la variación de pH en los dos puntos de muestreo no es significativa, y teniendo en cuenta que el valor de pH es aceptable para el consumo humano (debe estar comprendido entre 6.5 y 9.0), se determina que el parámetro se encuentra en el rango adecuado para la zona de estudio. Los valores registrados hacen a su vez que esta fuente se apta para diferentes formas de vida.

Figura 29. Variación de pH en los puntos de muestreo

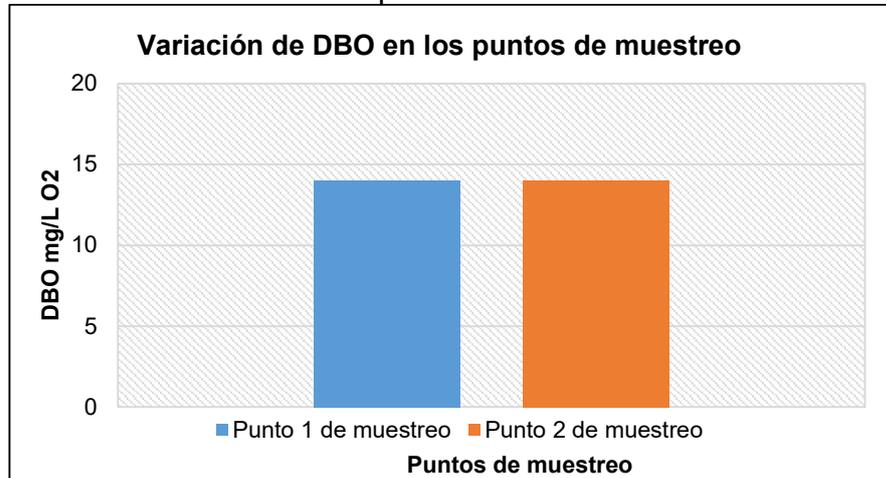


Fuente: Autores

En la figura 30, se puede observar que no hay variación en la medición de DBO para los dos puntos de muestreo. Sin embargo, considerando la contaminación orgánica, y teniendo en cuenta que los valores por encima de 10 mg/L representan una afectación significativa la calidad, este parámetro no cumple con el rango

adecuado en la zona de estudio.

Figura 30. Variación de DBO en los puntos de muestreo



Fuente: Autores

En la figura 31, se puede evidenciar que no hay variación en los valores de nitratos en los dos puntos de muestreo. Teniendo en cuenta que el valor máximo aceptable para el consumo humano es de 10 mg NO₃-/L, se determina que este parámetro cumple con el rango aceptable en la zona de estudio. Sin embargo, es importante tener un constante monitoreo de este parámetro debido a que el aumento en sus valores puede generar afectaciones en la salud humana, causando cianosis e, incluso asfixia³⁷.

Figura 31. Variación de nitratos en los puntos de muestreo



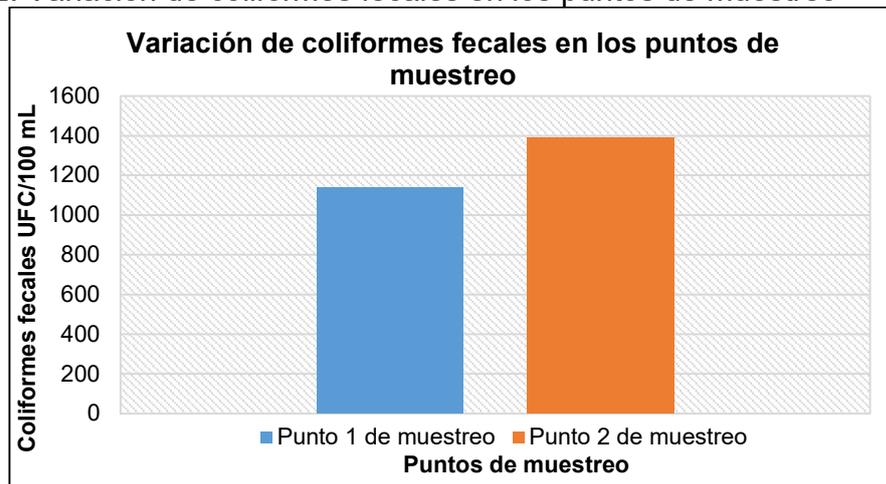
Fuente: Autores.

³⁷ Camargo y Alonso, 2007, Contaminación por nitrógeno inorgánico en los ecosistemas acuáticos: problemas medioambientales, criterios de calidad del agua, e implicaciones del cambio climático.

En la Figura 32, se puede ver que hay un crecimiento microbiano desde el punto aguas arriba (2) hasta el punto aguas abajo (1) que corresponde a 1140 UFC/100 mL y a 1390 UFC/100 mL respectivamente. Esto indica un efecto activador del aumento de la temperatura en la actividad microbiana³⁸. Esto se presenta su vez debido a que existen extensas zonas de levantamiento de pastos para ganado, y que por medio del efecto de la escorrentía generan un transporte de microorganismos presentes en las heces y desechos de estos animales hacia el río.

Por otra parte, la presencia de estas bacterias es un indicador importante de contaminación biológica. El contacto directo de estos microorganismos con el agua puede crear problemas de afectación en la salud como se expresa en se expresa en el Manual de Contaminación Ambiental, han sido la causa de las grandes epidemias que se han producido a lo largo de la historia de la humanidad, como ejemplos se puede citar el tifus, el cólera la disentería etc.³⁹

Figura 32. Variación de coliformes fecales en los puntos de muestreo



Fuente: Autores.

La Figura 33, indica que no hay variación en la temperatura del agua de los dos puntos de muestreo. Sin embargo, se considera que la temperatura del agua aceptable para el consumo humano debe encontrarse en un rango de 10 °C a 15 °C⁴⁰ por lo tanto, no se presenta el valor adecuado en la zona de estudio. Valores inadecuados en la temperatura del agua pueden generar un aumento en el metabolismo y reproducción de microorganismos patógenos como coliformes.⁴¹

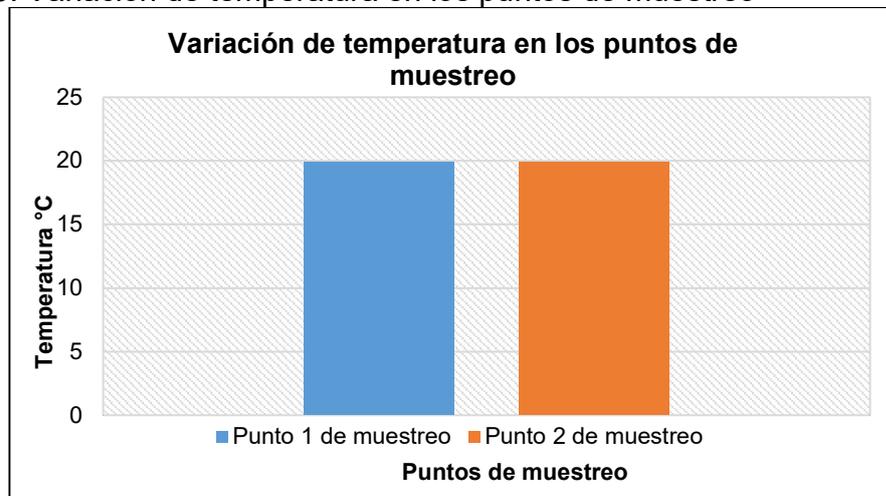
³⁸ Ibid. Pág. 647

³⁹ Manual de Contaminación Ambiental, 1994

⁴⁰ DAVIS, CORNWELL, Introducción a la ingeniería ambiental. 1998.

⁴¹ ESTRADA, Luis, Influencia de la temperatura en la evolución de la población de aerobios totales y de microorganismos patógenos en un suelo tratado con lodo de depuradora urbana. 2003,

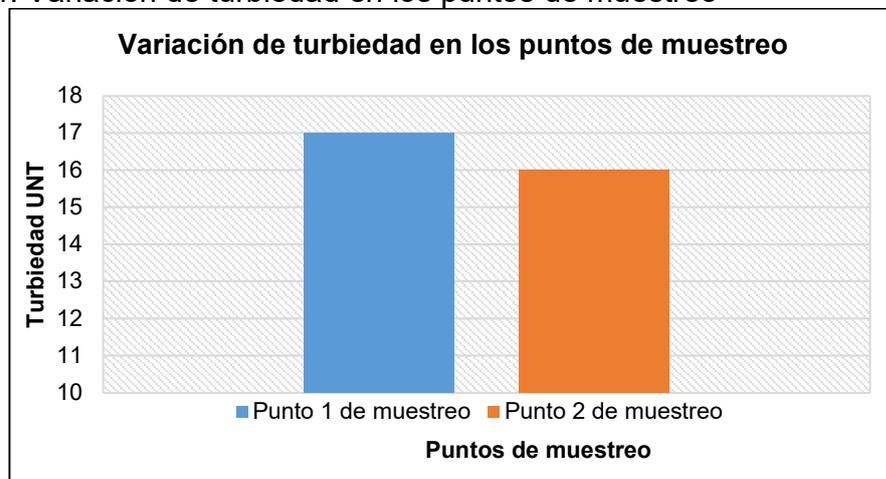
Figura 33. Variación de temperatura en los puntos de muestreo



Fuente: Autores

La Figura 34 señala que el valor de turbiedad en el punto de muestro 1 es ligeramente mayor. No obstante, el valor máximo aceptable para el consumo humano es de 2 UNT, por lo tanto, el agua en este sector no cumple con las características adecuadas.

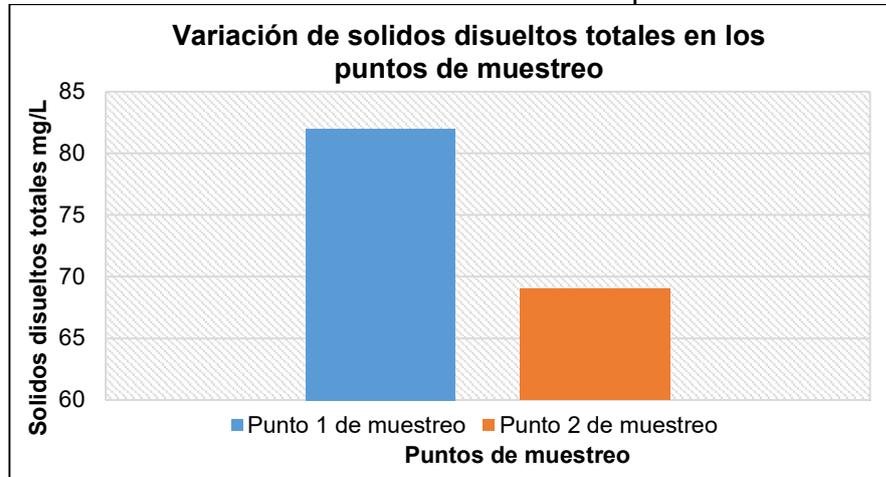
Figura 34. Variación de turbiedad en los puntos de muestreo



Fuente: Autores

En la Figura 35, se puede observar que el valor de solidos disueltos totales es mayor en el punto 1. Teniendo en cuenta que en nivel máximo aceptable en agua apta para el consumo humano es de 500 mg/L, se determinó que este parámetro se encuentra en el rango adecuado.

Figura 35 Variación de sólidos disueltos totales en los puntos de muestreo

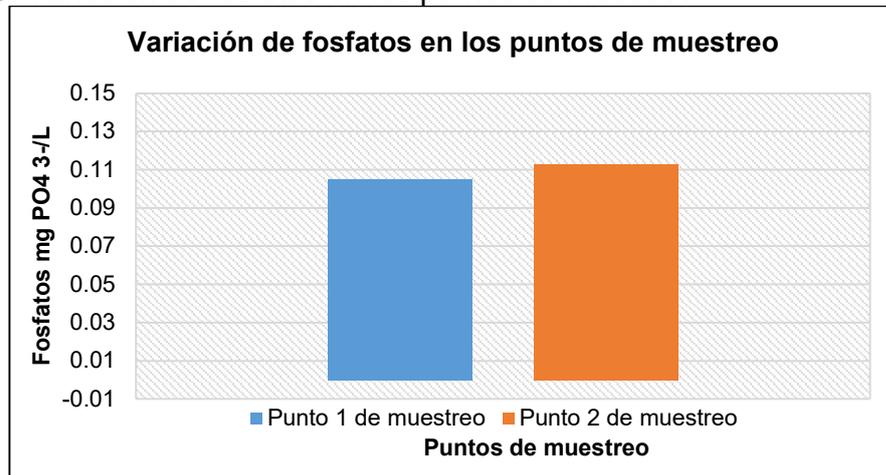


Fuente: Autores.

La Figura 36, señala que el nivel de fosfatos en el punto 2 es ligeramente mayor que en el punto 1. Teniendo en cuenta que el valor máximo admisible es de 2.05 mg/L, se puede decir que la zona de estudio se encuentra en el rango adecuado.

Es importante, sin embargo, mantener un monitoreo constante de este parámetro ya que el aumento de estos niveles ayuda al crecimiento de algas, que al morir y por procesos de descomposición demandan una cantidad alta de oxígeno⁴² disminuyendo así la calidad del agua.

Figura 36. Variación de fosfatos en los puntos de muestreo



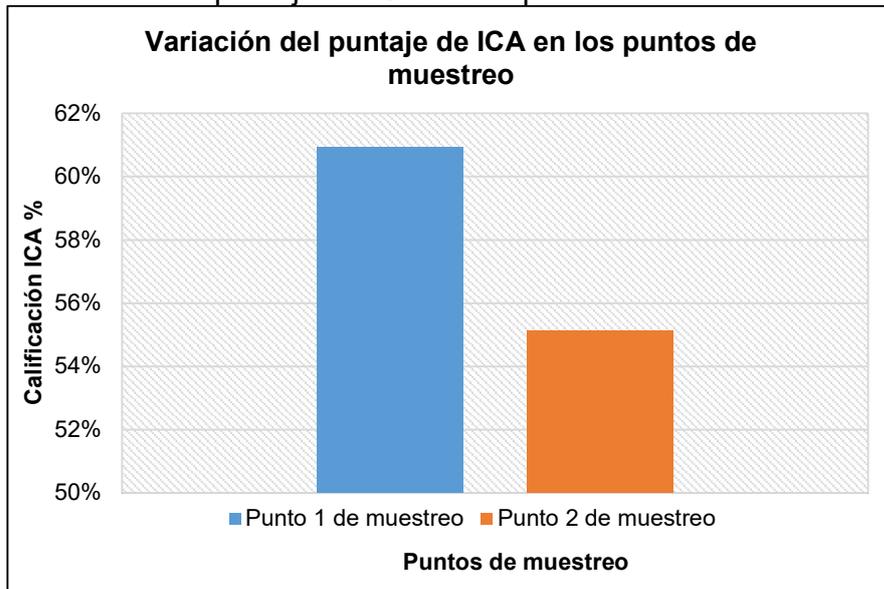
Fuente: Autores.

⁴² Carpenter, 1998, Ecological and Social Dynamics in Simple Models of Ecosystem Management

Finalmente, mediante del cálculo del ICA NSF en los dos puntos de muestreo, se puede determinar que el agua en el sector presenta una mediana calidad. Es decir que su diversidad de vida acuática puede ser baja, contiene diversos contaminantes y necesita un tratamiento potabilizador para el consumo humano.

Por otra parte, se puede observar que la calidad del agua es menor en el punto de muestreo 2, esto se debe al significativo aumento de oxígeno disuelto en el punto de muestreo 1.

Figura 37. Variación del puntaje de ICA en los puntos de muestreo



Fuente: Autores.

Con el propósito de realizar un análisis detallado de la calidad de agua en el Río Chicamocha para el municipio de Paipa se realizó una comparación del estudio realizado por la Universidad de Antioquía en 1999, un promedio de los estudios realizados por el acueducto de Paipa en el 2020 y los resultados obtenidos en los dos puntos de muestreo del presente estudio. En esta comparación se tienen en cuenta únicamente los 9 parámetros especificados en el ICA-NSF 1970 para la evaluación de la calidad del agua del Río Chicamocha y se pueden observar en la Tabla 16.

Tabla 16. Comparación resultados estudios en otras temporadas

Parámetros	Unidades	Estudio Universidad de Antioquía (1999)	Estudio Acueducto de Paipa (2020)	Estudio actual punto 1	Estudio actual punto 2
Oxígeno disuelto	mg/L O2	5.81	3.67	5.51	2.51
pH	Unidades	6.94	6.41	6.90	7.02
DBO	mg/L O2	2.88	12	14.0	14.0

Parámetros	Unidades	Estudio Universidad de Antioquía (1999)	Estudio Acueducto de Paipa (2020)	Estudio actual punto 1	Estudio actual punto 2
Nitratos	mg NO ₃ -/L	0.17	1.51	0.480	0.480
Coliformes fecales	UFC/100 mL	-	25.5x10 ²	1140	1390
Temperatura	°C	-	18.2	19,9	19,9
Turbiedad	UNT	-	-	17.0	16
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	-	-	82	69
Fosfatos	mg PO ₄ 3- /L	-	0.63	0.105	0.113

Fuente: Autores.

Con base en lo anterior, se puede notar que en el estudio realizado por la Universidad de Antioquía se tuvieron en cuenta solo 4 de los 9 parámetros definidos por el ICA NSF para la evaluación de la calidad del agua que son OD, pH, DBO y nitratos. Mientras que en el estudio realizado por acueducto de Paipa se tuvieron en cuenta 7 de los 9 parámetros definidos por el ICA NSF, siendo estos OD, pH, DBO, nitratos, coliformes fecales, temperatura y fosfatos.

Para el caso del oxígeno disuelto, pH y nitratos se observa una congruencia en los datos del análisis realizado en 1999 y los resultados obtenidos en el presente estudio. Sin embargo, se puede notar que el valor obtenido de DBO en 1999 es mucho menor al del estudio actual, sugiriendo una disminución significativa en la calidad del agua.

Por otra parte, realizando una comparación entre el estudio realizado por el acueducto de Paipa y el estudio actual, se puede evidenciar, que hay un leve incremento en los valores de DBO, pH, coliformes fecales y temperatura. Aunque no es un incremento importante, tiene un impacto en la disminución de la calidad del agua. Mientras que los valores de nitratos y fosfatos presentan una disminución leve en comparación con el 2020.

8 CONCLUSIONES

Paipa es un municipio en Boyacá que ha tenido un crecimiento poblacional y un desarrollo económico importante en los últimos años. Es por esto que se debe buscar alternativas adecuadas de abastecimiento hídrico para sus habitantes. En respuesta a esto, se realizó la evaluación de 9 parámetros fisicoquímicos y microbiológicos indicados en el ICA NSF 1970, en dos puntos del municipio. El primer punto ubicado en la zona intermedia del casco urbano y el segundo punto ubicado en la entrada al municipio y en el que se encuentra cierto desarrollo industrial.

Se recopiló la información necesaria para determinar las características del municipio y del río. Gracias a esta información se pudo identificar los problemas de abastecimiento en el casco urbano, que actualmente, tiene como fuente principal la quebrada Toibita, declarada agotada hídricamente por Corpoboyacá.

A partir de la caracterización del Río Chicamocha, se pudieron categorizar las actividades antrópicas que se desarrollan en la ronda hídrica, identificando diferentes sectores productivos dentro de los que se destacan energéticos, agroindustriales, avícolas y ganaderos.

Se seleccionaron dos puntos de muestreo, con incidencias distintas sobre la calidad del agua del río, esto debido a que el primer punto se encuentra en el casco urbano, donde se presentan actividades comerciales, mientras que el segundo punto se ubica a la entrada del municipio donde hay más desarrollo industrial, actividades ganaderas y agrícolas.

Luego del análisis realizado a las muestras en el laboratorio Serviquímicos, se realizó el cálculo del índice de calidad de agua ICA, determinando que el agua en los dos puntos estudiados presenta una calidad media de 60.92% y 55.13% en el punto 1 y 2 de muestreo respectivamente. Esto sugiere que el río contiene diversos agentes contaminantes y necesita un tratamiento potabilizador para el consumo humano. De igual manera, este resultado sugiere unas condiciones subóptimas para la biota acuática.

Dado que el Río Chicamocha está siendo considerado como una fuente alternativa de abastecimiento para la población del municipio, se determina que los parámetros que están presentando mayor afectación a la calidad del agua, son el oxígeno disuelto y los coliformes fecales. El nivel óptimo de oxígeno disuelto para las condiciones actuales del río es de 9.1 mg/L. Sin embargo, como se observó en el en el segundo punto de estudio, el nivel registrado fue de 2.51 mg/L, y en el primero punto fue de 5.51%; esto representa apenas el 27.81% y el 60, 54% del nivel óptimo respectivamente.

Finalmente, y teniendo en cuenta las limitaciones que se tuvieron debido al elevado

costo del análisis de los parámetros en el laboratorio, y considerando la notable diferencia que se presenta con los estudios previos de la zona, se recomienda realizar el análisis en más puntos de muestreo y en diferentes condiciones del tiempo con el fin de realizar una trazabilidad y hacer seguimiento al grado de contaminación presente en el río.

BIBLIOGRAFÍA

Artículo

ALBA German; 05 de junio de 2018. Monitoreo satelital de la calidad del agua en una cuenca y su relación con incendios, precipitaciones y crecimiento urbano

Artículo

AGBAR, 01 de noviembre de 2018. Cloro residual libre en la distribución

ALCALDÍA DE PAIPA; 12 de noviembre de 2019. Plan de desarrollo municipal. Disponible desde Internet en: < <https://www.paipaboyaca.gov.co/Transparencia/PlaneacionGestionControl/Plan%20de%20Desarrollo%202020%20-%202023.pdf>>

Artículo

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA) (1998). Standard methods for examination of the water and wastewater (20 ed)

BOLAÑOS, Diego, CORDERO, Gloriana, Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela

COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, diciembre de 2017. manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento p 17

CORPOBOYACÁ: 03 de noviembre de 2015. Plan de ordenamiento hídrico Cuenca Alta del Río Chicamocha

CORPOBOYACÁ, Plan de ordenación y manejo ambiental de la Cuenca Alta del Río Chicamocha

ECOFLUIDOS INGENIEROS S.A, enero de 2012, Estudio de la calidad de fuentes utilizadas para consumo humano y plan de mitigación por contaminación por uso doméstico y agroquímicos en apurimac y cusco

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, Conditions of our water

Artículo

ESCOBAR Isabel. SCHÄFER Andrea. Sustainable Water for the Future: Water Recycling versus Desalination. 05 de octubre de 2009.

Artículo

FERNÁNDEZ Cirellia; 03 de diciembre de 2012. El agua: un recurso esencial. Universidad de Buenos Aires (UBA) [Artículo en línea]. Disponible desde Internet en: <https://www-virtualpro-co.ucatolica.basesdedatosezproxy.com/biblioteca/el->

agua-un-recurso-esencial

Artículo

GARCÍA, M. 24 de agosto de 2012. Variabilidad climática, cambio climático y el recurso hídrico en Colombia. Revista de Ingeniería, 60-64

GRUPO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA. UNIVERSIDAD DE SEVILLA, 12 octubre de 2019, dureza de las aguas

HERNAN Camilo y TORRES Patricia; 05 de octubre de 2009. Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. una revisión crítica [Artículo en línea] Disponible en internet en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v8n15s1/v8n15s1a09.pdf>

IDEAM. Índice de Calidad De Agua En Corrientes Superficiales (ICA). 2010. PDF

OMS, Guías para la calidad del agua potable – OMS segunda edición vol. 1, 1995

Normas jurídicas leyes, los reglamentos, las órdenes ministeriales, decretos, resoluciones INSTITUTO NACIONAL DE SALUD; 2011. Manual toma de muestras de agua

Normas jurídicas leyes, los reglamentos, las órdenes ministeriales, decretos, resoluciones

MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL; 22 de junio de 2007. Resolución 2115

OVIEDO, 03 marzo de 1997 'Contaminación e Ingeniería Ambiental', J.L. Bueno, H. Sastre y A.G. Lavín, FICYT

PENCHASZADEH, 1983. Ecología del ambiente marino costero de Punta Morón (Termoeléctrica Planta Centro, Venezuela) Fase II Univ. Simón Bolívar, INTECMAR, Caracas, p 464

PERES, Esteban, Control de calidad en aguas para consumo humano en la región occidental de Costa Rica, 2016, Pág. 6

Artículo

RODRIGUEZ Juan Pablo, y MOSQUERA, Jorge; 1 de julio de 2016. Índices de calidad en cuerpos de agua superficiales en la planificación de los recursos hídricos. [Artículo en línea]. Disponible desde internet en:

<https://www.proquest.com/scholarlyjournals/indices-de-calidad-en-cuerpos-agua-superficiales/docview/1999164553>

SALGOT Sánchez, 13 de septiembre 1999. Recursos d'agua, Fundación Agbar, España

Artículo

SAMBONÍ N. 20 de marzo 2011. Aplicación de los indicadores de calidad y contaminación del agua en la determinación de la oferta hídrica neta. Revista de Ingeniería y Competividad, 13, pp. 49-60

SEWYER Clair, 2000, Química Para Ingeniería Ambiental, Cuarta Edición

SYSMAN Stefanini; 2021. Módulo de servicios públicos

Filename: Proyecto_Torres_Rojas_JS (4)
Directory: C:\Users\MSI-PC\Desktop
Template: C:\Users\MSI-PC\AppData\Roaming\Microsoft\Templates\Normal.dotm
Title:
Subject:
Author: Carlos Andres Lozano Garzon
Keywords:
Comments:
Creation Date: 28/05/2022 11:22:00 a. m.
Change Number: 10
Last Saved On: 28/05/2022 4:54:00 p. m.
Last Saved By: Fabian Torres Suarez
Total Editing Time: 61 Minutes
Last Printed On: 12/07/2022 4:40:00 p. m.
As of Last Complete Printing
Number of Pages: 61
Number of Words: 13 759 (approx.)
Number of Characters: 75 677 (approx.)