

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA DEL META**  
Facultad de Ingeniería Ambiental



**TESIS**

**Consideraciones para el cálculo del Índice de Riesgo de Calidad del Agua según las tendencias actuales sanitarias y epidemiológicas**

**PRESENTADA POR:**  
José Luis Guataquira Rincón

**TRABAJO DE TESIS**

Presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniería Ambiental

Villavicencio  
Octubre, 2023

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA DEL META**  
Facultad de Ingeniería Ambiental



**TESIS**

**Consideraciones para el cálculo del Índice de Riesgo de Calidad del Agua según las tendencias actuales sanitarias y epidemiológicas**

**PRESENTADA POR:**  
José Luis Guataquira Rincón

**TRABAJO DE TESIS**

Presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniería Ambiental

**DIRECTOR DISCIPLINAR**

RENÉ RICARDO CUÉLLAR RODRÍGUEZ  
Ing. Ambiental y Sanitario –MSc en Gestión Ambiental

**DIRECTOR METODOLÓGICO**

**NOMBRE  
ESTUDIOS**

Villavicencio  
Octubre, 2023

**NOTA DE ADVERTENCIA**

“La Universidad no se hace responsable por los conceptos emitidos por sus alumnos en sus trabajos de tesis. Solo velara porque no se publique nada contrario al dogma y a la moral católica y por qué las tesis no contengan ataques personales contra persona alguna, antes bien se vea en ellas el anhelo de buscar la verdad y la justicia”

Artículo 23 de la Resolución N°13 de julio de 1946

**Consideraciones para el cálculo del Índice de Riesgo de Calidad del Agua según las  
tendencias actuales sanitarias y epidemiológicas**

**José Luis Guataquira Rincón**

**APROBADO**

<hr/>	<hr/>
<b>Firma:</b>	<b>Firma:</b>
Nombre	Nombre.
Jurado 1	Jurado 2
<hr/>	<hr/>
<b>Firma:</b>	<b>Firma:</b>
RENÉ RICARDO CUÉLLAR RODRÍGUEZ	LAURA DANIELA PALOMINO BOSHELL
Director disciplinar	Director metodológico

## Índice de contenidos

RESUMEN.....	xii
ABSTRACT .....	xiii
1. CAPITULO: GENERALIDADES .....	14
1.1. Introducción.....	15
2. CAPITULO: MARCO METODOLÓGICO .....	19
2.1. Antecedentes .....	20
2.2. Problema de investigación .....	25
2.3. Justificación.....	27
2.4. Objetivo general.....	28
2.5. Objetivos específicos.....	28
3. CAPITULO: MARCO TEÓRICO .....	29
3.1. Marco Teórico.....	30
3.1.1. Parámetros físicos.....	30
3.1.2. Parámetros químicos.....	30
3.1.3. Parámetros microbiológicos.....	30
3.1.4. Índices de Calidad del Agua.....	31
3.1.4.1. Índice de Riesgo de Calidad del Agua (IRCA) .....	33
3.1.4.2. Índice de Calidad del Agua de la Fundación Nacional de Saneamiento (en inglés como: Water Quality Index The National Sanitation Foundation (WQI <sub>NSF</sub> )) .....	35
3.1.4.3. Dinius .....	38
3.1.4.4. Índice de calidad del agua potable (en inglés como: como Drinking Water Quality Index (DWQI))	39
3.1.4.5. Índice simplificado de calidad del agua (ISQA) .....	41
3.1.4.6. Índice de Calidad del Agua Bruta para Fines de Abastecimiento Público (en portugués como: Índice de Qualidade das Águas Brutas para Fins de Abastecimento Público (IAP)).....	42
3.1.4.7. El proyecto AMOEBA.....	45
3.1.4.8. Índice Universal de la Calidad del agua (en inglés como: Universal Water Quality Index (UWQI))	57
3.1.4.9. Índice de Calidad para el río Cauca (ICAUCA) .....	58
3.1.5. Contaminantes emergentes (CE).....	60
3.2. Marco conceptual .....	61

3.3.	Marco legal .....	62
4.	CAPITULO: MATERIALES Y MÉTODOS .....	63
4.1.	Comparación de los índices de calidad del agua .....	64
4.1.1.	Comparación cualitativa.....	64
4.1.2.	Comparación cuantitativa .....	64
4.2.	Evaluación de las enfermedades vehiculizadas por el agua mediante el informe del Instituto Nacional Salud para ser considerados como parámetros del IRCA .....	65
4.3.	Análisis de los posibles contaminantes emergentes según el listado del CAS para ser considerados como parámetros del IRCA .....	65
5.	CAPITULO: RESULTADOS Y ANÁLISIS .....	66
5.1.	Comparación de los índices de calidad del agua .....	67
5.1.1.	Comparación cualitativa – Frecuencia y cantidad de parámetros biológicos analizados por los índices de calidad del agua .....	67
5.1.2.	Comparación cualitativa - Frecuencia y cantidad de parámetros físicos analizados por los índices de calidad del agua .....	68
5.1.3.	Comparación cualitativa - Frecuencia y cantidad de parámetros químicos inorgánicos analizados por los índices de calidad del agua .....	70
5.1.4.	Comparación cualitativa - Frecuencia y cantidad de parámetros químicos orgánicos analizados por los índices de calidad del agua .....	72
5.1.5.	Comparación cualitativa - Frecuencia y cantidad de parámetros asociados a plaguicidas analizados por los índices de calidad del agua .....	73
5.1.6.	Comparación cualitativa – Valores de referencia de los parámetros empleados el índice de calidad del agua (IRCA) y los estándares internacionales .....	73
5.1.6.1.	Limites admisibles para parámetros microbiológicos .....	73
5.1.6.2.	Limites admisibles para parámetros físicos.....	75
5.1.6.3.	Limites admisibles para parámetros químicos inorgánicos .....	76
5.1.6.4.	Limites admisibles para parámetros químicos orgánicos .....	78
5.1.6.5.	Limites admisibles para parámetros químicos radioactivos .....	79
5.1.6.6.	Limites admisibles para parámetros asociados a plaguicidas.....	79
5.1.7.	Comparación cuantitativa – Valores de referencia e índices de calidad del agua .....	82
5.1.7.1.	Comparación cuantitativa – IRCA vs $WQI_{NSF}$ .....	82
5.1.7.2.	Comparación cuantitativa – IRCA vs Dinius .....	83
5.1.7.3.	Comparación cuantitativa – IRCA vs DWQI .....	84
5.1.7.4.	Comparación cuantitativa – IRCA vs ISQA .....	85
5.1.7.5.	Comparación cuantitativa – IRCA vs IAP.....	85

5.1.7.6.	Comparación cuantitativa – IRCA vs AMOEBA (Índice de contaminación por nutrientes (NPI Nutrient pollution index)) .....	86
5.1.7.7.	Comparación cuantitativa – IRCA vs UWQI .....	86
5.1.7.8.	Comparación cuantitativa – IRCA vs ICAUCA.....	87
5.2.	• Evaluación de las enfermedades vehiculizadas por el agua respecto al IRCA .....	87
5.3.	• Análisis los posibles contaminantes emergentes según el listado del CAS para ser considerados como parámetros del IRCA .....	88
CAPITULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		89
6.1.	Conclusiones .....	90
6.2.	Recomendaciones .....	91
CAPITULO 9: REFERENCIAS .....		93
9.	Referencias .....	94

## Índice de tablas

<b>Tabla 1</b> Características del nivel de servicio abastecimiento de agua _____	20
<b>Tabla 2</b> Reporte de contaminantes emergentes asociados a productos farmacéuticos y de cuidado personal _____	22
<b>Tabla 3</b> Características del nivel de servicio abastecimiento de agua _____	23
<b>Tabla 4</b> Características del nivel de servicio abastecimiento de agua _____	23
<b>Tabla 5</b> Clasificación de los índices de calidad según la información de análisis [42]. _____	31
<b>Tabla 6</b> Clasificación de los índices de calidad según el uso del recurso hídrico [42] _____	32
<b>Tabla 7</b> Procedimiento para el cálculo de los ICA [42] _____	32
<b>Tabla 8</b> Valores máximos aceptables y puntaje IRCA [43]. _____	34
<b>Tabla 9</b> Clasificación del nivel de riesgo en salud según el IRCA por muestra y el IRCA mensual y acciones que deben adelantarse [43]. _____	34
<b>Tabla 10</b> Clasificación de calidad de agua en función del índice $WQI_{NSF}$ [44]. _____	37
<b>Tabla 11</b> Clasificación de calidad de agua en función del índice $WQI_{DINIUS}$ [45]. _____	39
<b>Tabla 12</b> Clasificación de calidad de agua en función del índice $DWQI$ [46]. _____	41
<b>Tabla 13</b> Clasificación de calidad de agua en función del índice $ISQA$ , [47]. _____	42
<b>Tabla 14</b> Límite inferior y superior según la variable de estudio para el índice $ISTO$ [48]. _____	44
<b>Tabla 15</b> Clasificación de calidad de agua en función del índice $IAP$ , [48]. _____	45
<b>Tabla 16</b> Valores deseables para condiciones de aguas dulces según el índice en proyecto AMOEBA [49]. _____	47
<b>Tabla 17</b> Concentraciones seguras en agua y en sedimento para variables del índice de contaminación industrial IPI – Proyecto AMOEBA [49]. _____	52
<b>Tabla 18</b> Concentraciones seguras en agua y en sedimento para compuestos del índice de contaminación por pesticidas PPI – Proyecto AMOEBA [49]. _____	53
<b>Tabla 19</b> Pesos ponderados según el parámetro de calidad para el $UWQI$ [50]. _____	57
<b>Tabla 20</b> Clasificación de calidad de agua en función del índice $UWQI$ [50]. _____	58
<b>Tabla 21</b> Ecuaciones del subíndice y ponderación según cada parámetro para el ICAUCA [51]. _____	59
<b>Tabla 22</b> Clasificación de calidad de agua en función del índice ICAUCA [51]. _____	59
<b>Tabla 23</b> Marco normativo relacionado con el índice de riesgo a la calidad del agua _____	62
<b>Tabla 24</b> parámetros biológicos analizados por los índices de calidad _____	67
<b>Tabla 25</b> Parámetros físicos analizados por los índices de calidad _____	69
<b>Tabla 26</b> Parámetros químicos inorgánicos analizados por los índices de calidad, _____	71
<b>Tabla 27</b> Parámetros químicos orgánicos analizados por los índices de calidad _____	72
<b>Tabla 28</b> Parámetros asociados a plaguicidas analizados por los índices de calidad _____	73
<b>Tabla 29</b> valores de referencia para parámetros microbiológicos _____	75
<b>Tabla 30</b> Valores de referencia para parámetros físicos _____	76
<b>Tabla 31</b> Valores de referencia para parámetros químicos inorgánicos _____	77
<b>Tabla 32</b> Valores de referencia para parámetros químicos orgánicos _____	78
<b>Tabla 33</b> Valores de referencia para parámetros químicos radioactivos _____	79
<b>Tabla 34</b> Valores de referencia para parámetros asociados a plaguicidas _____	80
<b>Tabla 35</b> Comparativo de los índices de calidad del agua IRCA vs $WQI_{NSF}$ para sus parámetros comunes _____	82
<b>Tabla 36</b> Comparativo de los índices de calidad del agua IRCA vs Dinius para sus parámetros comunes _____	83
<b>Tabla 37</b> Comparativo de los índices de calidad del agua IRCA vs $DWQI$ _____	84
<b>Tabla 38</b> Comparativo de los índices de calidad del agua IRCA vs $IAP$ _____	85
<b>Tabla 39</b> Comparativo de los índices de calidad del agua IRCA vs AMOEBA _____	86
<b>Tabla 40</b> Comparativo de los índices de calidad del agua IRCA vs $UWQI$ _____	87
<b>Tabla 41</b> Comparativo de los índices de calidad del agua IRCA vs ICAUCA _____	87
<b>Tabla 42</b> Comparativo entre los parámetros microbiológicos analizados por el IRCA vs las determinaciones de los agentes causales de enfermedades diarreicas agudas INCA (2022) _____	88

## Índice de figuras

*Figura 1. Radar para la representación de los índices y valores objeto en el proyecto AMOEBA, [49]. \_\_\_\_\_ 48*

## Índice de siglas, sigloides y acrónimos

AMOEBA	Método General de Evaluación Ecológica y Biológica
AWQI	Aceptation Water Quality Index
BDI	Biological diversity index
BPI	Bacterial pollution index
BSI	Benthic saprobity index
CE	Contaminantes emergentes
CETESB Companhia Ambiental do Estado de São Paulo	
CCME_WQI	Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index
COT	Carbono organico total
COVE	Comités de vigilancia epidemiológica
CT	Coliformes totales
DBO	Demanda biológica de oxígeno
DL50	Dosis letal media
DQO	Demanda química de oxígeno
EPA	Environmental Protection Agency
HPA	Hidrocarburos poli aromáticos
HWQI	Human Water Quality Index
IAP	Índice de Qualidade das Águas Brutas para Fins de Abastecimento Público
ICA	Índice de calidad de agua
ICAUCA Índice de Calidad para el rio Cauca	
ICO	Índice de contaminación
INCA	Informe Nacional de Calidad del Agua
IQA	Índice de calidad de agua
IPI	Industrial pollution index
IRCA	Índice de riesgo de la calidad del agua
ISQA	Índice simplificado de calidad del agua
ISO	International Organization for Standardization

ISTO	Índice de sustancias tóxicas y organolépticas
LI	Límite inferior
LS	Límite superior
MAVDT	Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial
MON	Materia Orgánica natural
NPI	Nutrient pollution index
NT	Nitrógeno total
NTU	Unidad nefelométrica de turbidez
OD	Oxígeno disuelto
OMS	Organización Mundial de la Salud
OPI	Organic pollution index
PCBs	Bifenilos policlorados
pH	Potencial de hidrógeno
PFCP	Productos farmacéuticos y de cuidado personal
PPI	Pesticide pollution index
PRI	Production respiration index
SIVICAP	Sistema de información para la vigilancia de calidad de agua potable
SO	Sustancias organolépticas
SST	Sólidos suspendidos totales
ST	Sustancias tóxicas
THM	Trihalometanos
UFC	Unidades formadoras de colonias
UNF	Unidades nefelométricas
UNEP	United Nation Environment Programme
UWQI	Universal Water Quality Index
WQI <sub>NSF</sub>	Water Quality Index The National Sanitation Foundation

## RESUMEN

La prevalencia de epidemias ocasionales asociados a enfermedades transportadas por el agua, la presencia de contaminantes químicos (orgánicos, inorgánicos y metales pesados) en los cuerpos abastecedores de agua para consumo humano por diferentes actividades antrópicas de tipo industrial, agrícolas, pecuarias, y del cuidado humano. Dichos contaminantes, se han acumulado hasta poderse detectar por los procedimientos y quipos actuales, así como para alcanzar concentraciones que pueden generar enfermedades. En este sentido el índice de Riesgo de Calidad del Agua (IRCA) establecido por la Resolución 2115 del 2007 propone unos parámetros admisibles para el agua potable de tipo microbiológico, físico y químico, parámetros que es necesario revisar para actualizar el instrumento de seguimiento al agua potable suministrada a la población. Se comparan los distintos índices de calidad del agua respecto al número y frecuencia de parámetros criterio, los valores de referencia, y los métodos cálculo de los índices para los parámetros comunes. Así mismo se analiza la inclusión de otros parámetros asociados a contaminantes emergentes asociados a plaguicidas y agentes microbianos. Como consecuencia de la indagación se propone parámetros a incluir como lo son los coliformes fecales, colifagos somáticos, V Hepatitis A, OD, DBO, Cd, As, Hg, Pb, Zn, Cu y los plaguicidas para los cuales ya se han descrito valores admisibles.

**Palabras clave:** Índices de calidad del agua, contaminantes emergentes

**ABSTRACT**

The prevalence of occasional epidemics associated with waterborne diseases, the presence of chemical contaminants (organic, inorganic, and heavy metals) in bodies that supply water for human consumption due to different anthropogenic activities of an industrial, agricultural, livestock, and care type. human. These contaminants have accumulated until they can be detected by current procedures and equipment, as well as to reach concentrations that can generate diseases. In this sense, the Water Quality Risk Index (IRCA) established by Resolution 2115 of 2007 proposes admissible parameters for drinking water of a microbiological, physical, and chemical nature, parameters that need to be reviewed to update the water monitoring instrument. drinking water supplied to the population. The different water quality indices are compared with respect to the number and frequency of criterion parameters, the reference values, and the methods for calculating the indices for common parameters. Likewise, the inclusion of other parameters associated with emerging contaminants associated with pesticides and microbial agents is analyzed. As a consequence of the investigation, parameters to be included are proposed, such as fecal coliforms, somatic coliphages, V Hepatitis A, OD, BOD, Cd, As, Hg, Pb, Zn, Cu and pesticides for which values have already been described. admissible.

**Key works:** Water quality indices, emerging contaminants

# **1.CAPITULO: GENERALIDADES**

## **1.1. Introducción.**

El crecimiento industrial induce al desarrollo socioeconómico y mejorar la calidad de vida del ser humano, sin embargo, se puede provocar importantes modificaciones al ambiente mediante diversas formas de materia y energía, y que desencadenan problemas ambientales y cambios sociales [1].

Dado los problemas antes enunciados, se han adelantado estudios relacionados con la contaminación de los recursos naturales a escala nacional [2] e internacional [3], siendo de principal interés el recurso hídrico y los suelos debido a los procesos de dispersión, bioacumulación y transporte de los contaminantes en estos [4]. Los ecosistemas más afectados son los cuerpos loticos, fuentes importantes de captación de agua para la producción agropecuaria e industrial [5], no obstante, son destinados como sitio de vertimiento de efluentes de diferentes sectores productivos tanto en zonas urbanas como rurales [6].

Otros factores agravantes son el uso excesivo de pesticidas y fertilizantes en labores agrícolas que posteriormente son lavados, transportados y depositados en los cuerpos hídricos [7]. Adicionalmente, las aguas superficiales están sometidas a contaminación natural (arrastre de material particulado y disuelto y presencia de materia orgánica natural (MON)) y de origen antrópico (descargas de aguas residuales domésticas) [8].

Actualmente, la mayor incidencia a la salud pública se centra en los sistemas de abastecimiento de agua por la alteración de las características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas de la fuente de captación, incidiendo de esta manera de forma directa en el nivel de riesgo sanitario del agua suministrada [9]. El riesgo sanitario se define como el peligro de transportar agentes contaminantes que puedan causar enfermedades vehiculizadas por el agua tanto para el hombre como para los animales, o alterar el normal desempeño de las actividades industriales o domésticas [8].

El riesgo es el resultado de comparar la vulnerabilidad de la población frente a una amenaza o factores de riesgo [10], y puede clasificarse de agudo a crónico. El riesgo agudo se relaciona con la probabilidad de enfermarse a muy corto plazo con dosis bajas del contaminante, ejemplo de la contaminación

microbiológica [11]. Y el riesgo crónico se relaciona con la presencia de contaminantes químicos donde la salud del ser humano después de largos períodos de exposición, ejemplo compuestos orgánicos e inorgánicos [11]. Adicionalmente, el riesgo agudo es prioridad para su control, debido al gran impacto a la salud del hombre y el riesgo crónico es segunda prioridad en sistemas de abastecimiento con contaminación microbiológica [12].

En la mayoría de los países en desarrollo, el riesgo microbiológico se relaciona con la desinfección y tratamiento del agua para consumo humano, donde aproximadamente el 80% de las morbilidades y más de un 33% de las mortalidades de las defunciones tienen por origen el consumo de agua contaminada y un 10% del tiempo productivo se dedica a atender enfermedades relacionadas con agua [9].

En Colombia, la contaminación del recurso hídrico también está asociado con vertimientos de aguas residuales domésticas, industriales, agrícolas, pecuarias, mineras, el transporte terrestre, fluvial y marítimo de sustancias peligrosas o petróleo, y la disposición de residuos sólidos en rellenos sanitarios o cielo abierto [13].

Por tal razón, se hace necesario hacer la evaluación de la calidad del recurso hídrico, comprendido a partir del seguimiento del tipo y cantidad de contaminantes según su naturaleza química, física y biológica, en relación con la calidad natural, los efectos humanos y los usos posibles. Para tener una interpretación simplificada de los datos del monitoreo, existen índices de calidad de agua (ICA) e índices de contaminación (ICO), los cuales expresan los datos en un valor que se relaciona con indicadores de riesgo. La diferencia entre estos índices está en la expresión matemática, el número de variables tenidas en cuenta y la forma de evaluar los procesos de contaminación [14]

En Colombia, el Ministerio de Salud y Protección Social y en colaboración con el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, Instituto Nacional de Salud, y la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios publica anualmente Informe Nacional de Calidad del Agua (INCA), cuya información sirve como punto de referencia a las autoridades y sectores involucrados en la toma de decisiones para la implementación de las

acciones de control para prevenir y mitigar los daños a la salud de la población derivados del consumo del agua [15].

El INCA del 2021 indica que para las muestras de vigilancia reportadas en el SIVICAP hay un descenso en el nivel de riesgo de la calidad del agua el área urbana, y un mantenimiento del nivel de riesgo alto en las zonas rurales del país. No obstante, este comprende una submuestra de la totalidad de los municipios, de las personas prestadoras y autoabastecedoras, donde el control es más riguroso por las entidades de salud pública para los prestadores del servicio, y en este sentido presentan un menor nivel de riesgo [16]. Los parámetros de seguimiento son los que indica la Resolución 2115 de 2007, siendo los parámetros tradicionales y los de mayor incumplimiento son color aparente, aluminio, cloro residual libre, turbiedad y coliformes totales [17].

Los contaminantes emergentes (CE) son compuestos químicos de distinto origen y naturaleza a los tradicionales, de ubicación en diferentes ambientes, generados por diferentes sectores productivos y actividades, no controlados por las autoridades de salud, y suponen un riesgo para la salud humana al causar estrés oxidativo, posibles alteraciones adversas en el sistema inmune, enfermedades pulmonares, alteraciones y disfunciones hormonales, trastornos en el desarrollo, trastornos en el metabolismo, genotoxicidad, entre otros [18].

Actualmente, surge la preocupación y la necesidad de considerar otros parámetros de los índices de calidad del agua, parámetros relacionadas con las enfermedades vehiculizadas por el agua y en especial los contaminantes emergentes.

Se comparan los índices de calidad del agua WQI NSF, Dinius, ICAUCA, DWQI, UWQI, ISCA, IAP, IRCA, AMOEBA y el IRCA respecto al número y frecuencia de parámetros criterio, los estándares de referencia son revisados según los valores más restrictivos teniendo en cuenta según lo establecido por la OMS, la comunidad europea, la EPA, y Japón. Los métodos cálculo de los índices para los parámetros comunes son testeados para un valor que no cumple de los criterios de calidad del IRCA y observar su

comportamiento. Así mismo se analiza la inclusión de otros parámetros asociados a contaminantes emergentes asociados a plaguicidas y agentes microbianos.

Finalmente, el propósito de este trabajo de grado es proponer parámetros y ponderaciones a considerar por el Índice de Riesgo de Calidad del Agua según las tendencias actuales sanitarias y epidemiológicas

## **2.CAPITULO: MARCO METODOLÓGICO**

## 2.1. Antecedentes

La Resolución 2115 de 2007 establece el sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano y los parámetros físicos, químicos y microbiológicos de seguimiento, y desde entonces se han realizado diferentes estudios basados en el IRCA con diferente alcance (propuesta de nuevas formas de determinación, correlación de variables meteorológicas o epidemiológicas) o con un menor o mayor detalle geográfico (análisis que va desde zonas veredales, municipales, departamentales o nacionales) Tabla 1.

**Tabla 1** Características del nivel de servicio abastecimiento de agua

Alcance	Conclusión principal	Fuente
Calidad y completitud de la información reportada	Estudios previos están enfocados a hacer el análisis del comportamiento de los resultados en el Sistema de Información para la Vigilancia de la Calidad del Agua Potable (SIVICAP) evidenciando que no todos los municipios del país reportan la información.	[20], [21], [22],
Valor del IRCA a nivel Nacional	Los promedios de IRCA con valoración de apta para el consumo de humano en el 2013 fueron del 43,1%	[21]
Valor del IRCA a nivel Nacional	A nivel nacional para el año 2011, la valoración del IRCA refleja que el agua suministrada fue de riesgo inviable sanitariamente en 251 municipios durante el año 2010 y en 351 municipios en el año 2011	[23]
Valor del IRCA a nivel Departamental	Para los municipios del departamento de Boyacá en el 2016 presentaron valores de IRCA sin riesgo de 3,6% en el 2016, 5,6% en el 2017, y 4,8% en el 2018	[22]
	Para el departamento del Tolima en el 2012 se obtuvo un IRCA con una categoría sin riesgo en 8 de los 34 municipios, es decir en el 23,5% de los municipios	[24]
Valor del IRCA a nivel Municipal	También se hace análisis académicos para evaluar de la calidad de los cuerpos hídricos de abastecimientos de la población como el caso del acueducto Yamboró, Pitalito – Huila, donde el IRCA tuvo comportamientos el 90% de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos analizados cumplen con el valor máximo permisible por la resolución 2115 del 2007 y el 10% que hace referencia a los parámetros dureza y aluminio sobrepasan los valores permisibles.	[25]
	Para el municipio de Bojacá en Cundinamarca, en el 2010, el IRCA tuvo un valor de 7,1% por incumplimiento en el parámetro de color después del tratamiento, un valor de 17,8% por incumplimiento adicional del parámetro de cloro residual libre,	[26]
	Para el municipio de Puerto Nariño en Amazonas, en el 2020 se obtuvo un IRCA con un valor del 52,5% y color, la turbidez UNF, el hierro, cloro residual y Coliformes totales UFC	[27]
Valor del IRCA a nivel Veredal	Del acueducto de la vereda Quiche del municipio de Chiquinquirá del departamento de Boyacá entre los años 2010 a 2020 ha presentado niveles de calidad del agua entre inviable sanitariamente y de riesgo alto, siendo los parámetros que atribuyen a esta calificación la turbiedad, el color, el cloro residual, el hierro, coliformes totales y E. coli	[28]

Aplicativos para la visualización y análisis del IRCA	Se ha realizado una aplicación basada en el sistema de información geográfica QGIS que permite visualizar los valores de las diferentes variables y suministrar el valor de índice del IRCA, junto con una visualización geográfica de los resultados, identificando los puntos de contaminación o riesgo para la salud, y de esta forma proyectar las inversiones de proyectos orientados al mejoramiento de la calidad del agua potable	[29]
Correlación epidemiológica del IRCA	A nivel nacional en el año 2010 y respecto a 1990 se ha dado una ampliación de la cobertura en los servicios de acueducto y alcantarillado. No obstante, los avances son más lentos respecto al promedio latinoamericano y la proporción de defunciones por enfermedades relacionadas con el agua ha aumentado. Así mismo, los modelos matemáticos indican que un aumento en los porcentajes de cobertura de acueducto y alcantarillado acelera la caída de las tasas de mortalidad infantil en menores de un año y cinco años. De igual forma, un aumento en el cambio del IRCA acelera el aumento de la tasa de mortalidad.	[30]
Correlación con variables meteorológicas	Se estableció una correlación positiva de algunas de las características físicas, químicas y microbiológicas evaluadas por el IRCA cuando hay un aumento de la precipitación y la temperatura.	[31]

**Fuente:** Propia

Complementariamente, la Resolución 2115 de 2007 establece límites permisibles a otras sustancias como: sustancias cancerígenas, mutagénicas y teratogénicas, compuestos cuya dosis letal 50 (DL50) sea menor o igual a 20 mg/Kg, químicos declarados como extremada o altamente peligrosas, y sustancias químicas de origen natural o sintético sobre las que se considere necesario aplicar normas de precaución en ausencia de información; en este sentido los estudios relacionados en la Tabla 1 y estudios anteriores no hacen la determinación de dichas sustancias

En este sentido, hay que recordar que a partir de la tercera revolución industrial hacia los años cincuenta (50), ante la generación de nuevos productos y por ende la generación nuevos residuos, donde concentraciones mínimas de ciertos productos químicos indetectables según los métodos e instrumentos empleados para la medición, y la posterior detección de la acumulación de estos o los subproductos de transformación y el mejoramiento de las técnicas de medición conllevó a que hacia los años noventa (90) se empezaron a reportar y cuantificar CE [19].

Desde entonces, con el avance tecnológico en los procedimientos de detección y cuantificación de CE,

Dentro de los CE encontramos los principios activos de los productos farmacéuticos y de cuidado personal (PFCP), estos se han encontrado en aguas superficiales y subterráneas, productos finales de tratamiento de aguas residuales, suelos y biota. Las principales vías de acceso de estos contaminantes a los cuerpos hídricos comprenden la escorrentía y lavado de desechos animales y humanos, y la descarga directa de aguas residuales no tratadas, Tabla 2.

**Tabla 2** Reporte de contaminantes emergentes asociados a productos farmacéuticos y de cuidado personal

Alcance	Conclusión principal	Fuente
Presenta reporte de concentraciones de antibióticos en ríos y arroyos	Para el arroyo Danubio (estado Porto Alegre, Brazil) se reportan concentraciones de antibióticos de tipo sulfonamidas, macrolidas, fluoroquinolonas, tetraciclinas, cefalosporinas e inhibidores de la dihidrolato reductasa mediante la extracción por cromatografía líquido – sólido de alta rendimiento y espectrometría de masas, encontrándose Amoxicilina (<0,46-1,284 mg/L) Ampicilina (<0,45 mg/L) Cefalexina (<0,64-2,422 mg/L) Ciprofloxacino (<0,41-119 mg/L) Norfloxacino (<0,41-51 mg/L) Sulfametoxazol (<0,78-106 mg/L) Tetraciclina (<2,5-11 mg/L) Trimetoprima (<0,56-484 mg/L). Las concentraciones de antibióticos se asocian a vertimientos aguas arriba de una planta de tratamiento de agua residual.	[32]
	La detección PFCP en aguas superficiales costarricenses producto del tratamiento terapéutico humano y animal en áreas no urbanizadas y asociadas a actividades zonas agrícolas rurales. Los contaminantes y concentraciones hallados fueron Ciprofloxacino (31-740 mg/L) Claritromicina (5-63 mg/L) Clindamicina (3-87 mg/L) Doxiciclina (4- 73,722 mg/L), Lincomicina (1-11 mg/L) Norfloxacino (38-1744 mg/L) Ofloxacina (22-335 mg/L) Oxacilina (70- 7571 mg/L) Oxitetraciclina (1-428 mg/L) Sulfadimetoxina (1-20 mg/L) Sulfametazina (4-1626 mg/L) Sulfametoxazol (11-56 mg/L) Sulfatiazol (5-39 mg/L) Tetraciclina (44-93 mg/L) Triclosan (11-263 mg/L) Trimetoprima (7-122 mg/L)	[33]
PCPP en Agua tratada que es vertida a cuerpos hídricos	La determinación de los PFCP en vertimientos plantas de tratamientos de aguas residuales urbanas posterior a procesos coagulación, precipitación química y neutralización Fenton encontraron Tetraciclina (ND), Azitromicina (22 mg/L), Ciprofloxacina (65,8 mg/L), Claritromicina (166 mg/L), Norfloxacino (<0,1 mg/L), Ofloxacina (293 mg/L), Sulfadiazina (292 mg/L), Sulfadimetoxina (6,66 mg/L), Sulfametoxazol (1,500 mg/L), Trimetoprima (123 mg/L), y Oxitetraciclina (20,2 mg/L)	[34]

Fuente: Propia

También la literatura científica reporta estudios donde se ha detectado y cuantificado sustancias relacionadas con pesticidas nitrogenados, pesticidas organoclorados y pesticidas organofosforados, y sustancias químicas cuya prevalencia está dada en las zonas rurales con actividades agropecuarias, Tabla 3. No obstante, son sustancias químicas que se encuentran tanto en aguas superficiales y aguas subterráneas de las cuales se captan agua para consumo humano, Tabla 3.

**Tabla 3** Características del nivel de servicio abastecimiento de agua

<b>Alcance</b>	<b>Conclusión principal</b>	<b>Fuente</b>
Plaguicidas en cuerpos superficiales y subterráneos	Presenta el reporte de concentraciones de pesticidas nitrogenados, organoclorados, y organofosforados en la cuenca del río Guadalhorce en la provincia de Málaga (España), siendo estos Terbutilazina (50 ppt), Imzalil (320 ppt), Imidacloprid (171 ppt), Carbendazima, (70 ppt), Atrazina (17 ppt), Tiabendazol (25 ppt), Simazina (60 ppt), Dimetoato (13 ppt), Diuron (16 ppt), Desisopropilatrastina (11 ppt), Metalaxil (11 ppt), Oxamil (25 ppt), Linuron (20 ppt), Oxifluorfen (26 ppt), Pendimetalina (14 ppt), Cloropirifós (15 ppt).	[35]
Plaguicidas y herbicidas en aguas superficiales	Para aguas superficiales como subterráneas de cuatro cuencas del Sur de España (Cuenca del río Guadalhorce - Málaga, Cuenca de la Laguna de Fuente de Piedra - Málaga, Cuenca del río Guadiaro – Málaga y Cádiz y el acuífero detrítico de la Vega de Granada - Granada) se muestra que la frecuencia de detección de plaguicidas y pesticidas es mayor en las zonas rurales, donde existe una intensa actividad agrícola y ganadera, siendo estos Atrazina, Terbutillazina, Diuron, Imzalil, Imidacloprid, Metalaxil, Oxamil, Pendimetalina, Tiabendazol, y Cloropirifós	[36]

**Fuente:** Propia

Finalmente, respecto a los CE también se han realizado estudios para evaluar los mejores procedimientos para removerlos del agua tratada, sea por tratamientos físicos por absorción y adsorción, tratamientos químicos mediante sistemas de oxidación avanzada y tratamientos biológicos en biorreactores llevados por bacterias y algas, Tabla 4.

**Tabla 4** Características del nivel de servicio abastecimiento de agua

<b>Alcance</b>	<b>Conclusión principal</b>	<b>Fuente</b>
Desarrollo de tratamientos de filtración y absorción de CE	Con el fin de incorporar equipos y procedimientos eficientes para el monitoreo y eliminación se evalúan los procesos combinados ultrafiltración con la adsorción con carbón activado, mostrado un rendimiento en la remoción de CE y que esta depende de la capacidad de intercambio y de tamaño de poro de la matriz.	[37]
Desarrollo de procesos biológicos para la biotransformación de CE	Se evaluó en la región de Murcia (España) la eficiencia de once depuradoras de aguas residuales del tratamiento con biorreactores de membrana para la remoción CE de tipo antibiótico (macrólidos, quinolonas, sulfonamidas y tetraciclinas), presentándose una eliminación entre 44% - 52% en macrólidos, 51% - 84% en algunas quinolonas, 34% en algunas sulfonamidas y 0% en algunas tetraciclinas, indicando que el tratamiento biológico es eficiente para algunos compuestos y que estos pueden ser degradados para ser usados como energía o constituyentes para los microorganismos	[38]
Desarrollo de tratamientos de oxidación	Usando sólo electrones como reactivos, bajo condiciones particulares, se puede lograr la degradación de compuestos orgánicos persistentes (COP) a dióxido de carbono y agua. Los estudios de POEA para el tratamiento de	[39]

avanzados electroquímicos (POEA) para la degradación de CE	aguas con CE muestran su utilidad ya que tienen eficiencias de plaguicidas, colorantes, fármacos, nitrobenzeno, clorofenoles, bifenilos. Las eficiencias varían del método y del tiempo de reacción al cual es sometida el agua, teniéndose Eficiencias entre 82 y 100% de degradación para tiempos entre 1 a 3 horas. Y se tienen eficiencias entre 51 y 93% de mineralización para tiempos entre 30 minutos y tres horas y media. No obstante, las técnicas pueden generar distintos subproductos de efectos desconocidos, y deben ser usados en aguas de baja carga de carbono orgánico disuelto.	
--	--	--

**Fuente:** Propia

## 2.2. Problema de investigación

Dada la prevalencia de epidemias ocasionales asociados a enfermedades vehiculizadas por el agua, la presencia de contaminantes químicos (orgánicos, inorgánicos y metales pesados) en los cuerpos abastecedores de agua para consumo humano y de diferente origen como:

- Las actividades agrícolas en la cual se utilizan agroinsumos como fertilizantes y pesticidas que son lavados por la lluvia desde las plantas y suelos, y por infiltración o escorrentía transportarlos hasta los cuerpos hídricos [32]
- Las actividades pecuarias utilizan productos veterinarios que posteriormente son vertidos a través de las eyecciones animales, posteriormente lavados por la lluvia y finalmente generan la contaminación de cuerpos subterráneos por infiltración y de cuerpos superficiales por escorrentía [35], [36]
- Los PFCP para cuidado de la salud (medicamentos), productos de cuidado personal (dermatológicos y cosméticos), son vertidos a los sistemas sanitarios que pueden entregar sus aguas residuales al suelo (campos de infiltración) a cuerpos hídricos (alcantarillados) o mantenerlos confinados (pozos sépticos) [33]
- Y finalmente, los productos de aseo de actividades domésticas (desinfectantes, detergentes, ceras, lubricantes, etc.) terminan de igual forma en los sistemas sanitarios antes mencionados [34].

Los contaminantes previamente mencionados durante el tiempo se han acumulado hasta poderse detectar por los procedimientos y quipos actuales, así como para alcanzar concentraciones que pueden generar enfermedades. Adicionalmente, las tecnologías actuales no pueden hacer la remoción de estas sustancias por los tratamientos convencionales, requiriendo desarrollar desde sistemas para prevenir la contaminación en el origen de generación, como mejora de los sistemas de tratamiento de agua potable [37], [38], [39].

Finalmente, se podría considerarse que los parámetros de seguimiento para el IRCA se encuentren rezagados respecto al tipo, valores de referencia y ponderación ya que la Resolución 2115 fue aprobada en

el 2007, que desde entonces se han originado 170 millones de sustancias que pueden ser usadas y no controladas dentro del territorio nacional y que pueden ser un riesgo a la salud y el ambiente.

### **2.3. Justificación**

El análisis comparativo de los estándares internacionales de seguimiento a la calidad del agua permitirá evaluar si los parámetros indicados por la Resolución 2115 de 2007 expedida por el Ministerio de Vivienda y Desarrollo Territorial, los valores de referencia de cada uno de estos y su ponderación responden a las actuales necesidades de un índice que evalúe el riesgo por contaminantes emergentes, especialmente por aquellos que se pueden presentar en áreas rurales donde se ubican generalmente los sitios de captación de agua cruda con fines de potabilización.

De esta manera, la propuesta podrá ser un aporte a posibles actualizaciones de la normatividad respecto a los parámetros de seguimiento, lo cual redundaría en un seguimiento más pertinente de acuerdo con el contexto geográfico, respecto a los usos del suelo en inmediaciones y aguas arriba del punto de captación.

Dado lo anterior, el trabajo de grado pretende responder a la pregunta de ¿Cuáles son los parámetros y ponderaciones que deben considerarse en el cálculo del Índice de Riesgo de Calidad del Agua según las tendencias actuales sanitarias y epidemiológicas

## **2.4. Objetivo general**

Proponer parámetros y ponderaciones que deben considerarse en el cálculo del Índice de Riesgo de Calidad del Agua según las tendencias actuales sanitarias y epidemiológicas

## **2.5. Objetivos específicos**

- Comparar el IRCA respecto a distintos índices de calidad de agua WQI NSF, Dinius, ICAUCA, DWQI, UWQI, ISCA, IAP, IRCA, AMOEBA y estándares de calidad a nivel internacional de la OMS, la comunidad europea, la EPA, y Japón de según los parámetros analizados por otros índices de calidad de agua y los estándares internacionales.
- Evaluar las enfermedades vehiculizadas por el agua mediante el informe del Instituto Nacional Salud para ser considerados como parámetros del IRCA
- Analizar los posibles contaminantes emergentes según el listado del CAS para ser considerados como parámetros del IRCA

## **3. CAPITULO: MARCO TEÓRICO**

### **3.1.Marco Teórico**

En Colombia se establecen sistemas para la protección y control de la calidad del agua para consumo humano según la resolución 2115 del 2007, que establece los límites aceptables de las características físicas, químicas y microbiológicas que pueden ser un factor de riesgo para la salud de los humanos y la infraestructura.

#### **3.1.1. Parámetros físicos.**

Son los que tienen una menor relevancia en cuanto a la calidad del agua, estos pueden modificar el aspecto del agua. Los cambios en el aspecto, olor y sabor en el agua de consumo humano pueden señalar cambios en la calidad del agua cruda (sin tratar) de la fuente o deficiencias en las operaciones de tratamiento. Los parámetros físicos de mayor importancia son; turbiedad, color aparente, conductividad y pH [40].

#### **3.1.2. Parámetros químicos.**

Son los de mayor importancia ya que pueden producir efectos adversos sobre la salud tras periodos de exposición prolongados, y son pocos los pueden ocasionar problemas de salud como resultado de una exposición única. La actividad agrícola contamina cuando emplea fertilizantes que son arrastrados hacia las aguas, especialmente nitratos y nitritos. Además, el uso inadecuado de agroquímicos contribuye a contaminar el agua con sustancias tóxicas para los humanos. Las actividades domésticas pueden contribuir principalmente en detergentes, grasas y aceites, solventes, desinfectantes, materia orgánica. Y las actividades industriales pueden aportar sustancias orgánicas, inorgánicas, solventes, detergentes, metales pesados tóxicos para los humanos como arsénico, plomo, mercurio y cromo. [40].

#### **3.1.3. Parámetros microbiológicos.**

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 bacterias, virus, protozoos, helmintos y otros organismos. Los patógenos fecales son los que más preocupan a la hora de fijar metas de protección de la salud relativas a la inocuidad microbiana. Se producen con frecuencia variaciones acusadas y bruscas de la calidad microbiológica del agua. Pueden producirse aumentos repentinos 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 se detecte la contaminación microbiana [40].

Los virus son causantes de aproximadamente el 70% de la EDA, principalmente el Rotavirus, Norovirus, Adenovirus (serotipos 40 and 41), Astrovirus y Enterovirus, a las bacterias se les atribuye entre el 10 y 20%, por *Campylobacter jejuni*, *Salmonella* (animal/no tifoidea), *Shigella*, *Yersinia enterocolitica*, *Escherichia coli* (enteropatógena y enterotoxigénica), *Yersinia pseudotuberculosis*, *Clostridium difficile*, *Salmonella typhi* y *Salmonella paratyphi*, *Vibrio cholerae*, y los parásitos, específicamente protozoos, comprenden menos del 10%, con *Giardia lamblia*, *Cryptosporidium*, *Entamoeba histolytica*, *Dientamoeba fragilis*, *Blastocystis hominis* *Helminths Strongyloides stercorali* [41].

En Colombia el microorganismo identificado más frecuentemente en niños menores de 5 años con EDA es el rotavirus (31,36,39). Las bacterias más frecuentemente implicadas son *Escherichia coli* (enteropatógena, y entero-toxigénica, principalmente) y *Salmonella* (alrededor del 10%); con menor frecuencia se aíslan *Campylobacter* y *Shigella* (menos de 6%) y no se identifica microorganismo patógeno hasta en 45% de los niños en quienes se busca etiología de la EDA [41].

#### 3.1.4. Índices de Calidad del Agua

Los índices de calidad del agua (ICA) son una expresión matemática que relaciona una serie de parámetros que permiten valorar el grado de calidad del recurso hídrico según su finalidad, estos arrojan la información en forma de número, rango, descripción verbal, y/o símbolo o color [42].

Los índices se clasifican según el tipo de información que analizan (Tabla 5), y los usos que pueda tener el recurso hídrico (Tabla 6).

**Tabla 5** Clasificación de los índices de calidad según la información de análisis [42].

Grupo	Indicadores	Tipo de información que analiza
1	En la fuente	Calidad de agua generada por presiones (contaminantes) en fuentes discretas
	Punto diferente a la fuente	Calidad del agua generada por fuentes difusas
2	Medidas simples	Comprenden varios parámetros individuales del agua, que pueden ser usados como indicadores de su calidad

	<b>Basados en criterios o estándares</b>	Correlación de la calidad del agua con los niveles estándar que han sido establecidos para la preservación de los acuíferos y usos del recurso hídrico.
	<b>Multiparámetro</b>	Determinados por el concepto colectivo de expertos
	<b>Multiparámetros empíricos</b>	Construidos a partir del análisis estadístico de las mediciones de calidad del agua
<b>3</b>	<b>Para cuerpos lenticos</b>	Desarrollados para este tipo de acuíferos
<b>4</b>	<b>Vida acuática</b>	Analizan las reacciones de tolerancia de la biota acuática a los contaminantes y condiciones del cuerpo hídrico
	<b>Uso del agua</b>	Evalúan el agua respecto a usos para consumo humano o agricultura
	<b>Basados en la percepción</b>	Comprenden la opinión pública y los usos que tendrá el recurso hídrico

**Tabla 6** Clasificación de los índices de calidad según el uso del recurso hídrico [42]

<b>Uso del recurso hídrico</b>	<b>Tipo de información que analizan</b>
<b>Manejo del recurso</b>	Proporcionan información para la toma de decisiones sobre las prioridades establecidas para el recurso hídrico
<b>Clasificación de áreas</b>	Comparar el estado del recurso en diferentes áreas geográficas
<b>Cumplimiento de la normatividad</b>	Determinar si se está superando los límites de contaminación de los cuerpos hídricos según la normatividad ambiental o políticas públicas vigentes
<b>Tendencia</b>	Evaluar si la calidad ambiental mejora o disminuye en el tiempo
<b>Información pública</b>	Concientizar y educar a la población sobre el manejo del recurso hídrico
<b>Investigación científica</b>	Analizar un conjunto de datos que pueden tener relación con la calidad del recurso hídrico, reducir los parámetros a aquellos que lo afectan y proporcionar información sobre el estado actual

El cálculo de los ICA se fundamenta en tres pasos consecutivos, primero la selección de parámetros, segundo la determinación del subíndice para cada parámetro, y tercero la determinación del índice por agregación de los subíndices, Tabla 7.

**Tabla 7** Procedimiento para el cálculo de los ICA [42]

<b>Paso</b>	<b>Observación</b>	<b>Fuente</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Objetivo</b>
<b>Primero</b> Selección de parámetros	Depende del criterio de un experto, de la información disponible, criterios de tiempo, localización e importancia como estándar de calidad	Walski (1974)	OD, temperatura, coliformes, pH, SS, color, olor, turbidez, transparencia, nitratos, fosfatos, grasas	características organolépticas, efecto sobre la vida acuática y la salud humana
		Dunnett e (1979)	OD, DBO, DQO	Nivel de oxígeno
			NO <sub>2</sub> -N, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N, ortofosfatos	Eutrofización
			Coliformes totales y fecales	Aspectos de salud
		Temperatura, transparencia, sólidos totales	Características físicas	
Dinius (1987)	Temperatura, OD, DQO, alcalinidad total, color, dureza total, pH,	escogencia y conformación de un panel de expertos seleccionan las variables de acuerdo con su criterio		

			conductividad, cloruros y nitratos	individual y finalmente seleccionan las de mayor importancia
<b>Segundo</b> Determinación del subíndice para cada parámetro	Transformación de las variables de una escala dimensional a una adimensional para permitir su agregación	Fernández y Solano (2005)	Valor nominal	comparación del valor del parámetro con un estándar
			Parámetro en número decimal, diagramas o tablas de calibración	Para cada parámetro se hace su propio gráfico en el que se indica la correlación entre el parámetro y su valor en escala de calidad (valores entre 0 y 100, o entre 0 y 1)
		Del Río (1986)	Métodos experiencia propia	Curvas desarrolladas por un mismo autor para distintos parámetros
			Método Delphi	Construcción a partir del promedio de la opinión de varios expertos
<b>Tercero</b> Determinación del índice por agregación de los subíndices	La integración de los subíndices determina el ICA, que puede darse por medio de expresiones de agregación matemática	Van Helmond y Breukel, (1997)	Promedio ponderado	$ICA = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_i$
			Promedio aritmético ponderado	$ICA = \sum_{i=1}^n Q_i \times W_i$
			Promedio geométrico no ponderado	$ICA = \left( \prod_{i=1}^n Q_i \right)^{\frac{1}{n}}$
			Promedio geométrico ponderado	$ICA = \left( \prod_{i=1}^n Q_i \right)^{W_i}$
			Subíndice mínimo	$ICA = \min(q_1, q_2, \dots, q_n)$
			Subíndice máximo	$ICA = \max(q_1, q_2, \dots, q_n)$
			Promedio no ponderado modificado	$ICA = \frac{1}{100} \times \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_i \right)^2$
			Promedio ponderado modificado	$ICA = \frac{1}{100} \times \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_i \times W_i \right)^2$

### 3.1.4.1. Índice de Riesgo de Calidad del Agua (IRCA)

Para el cálculo del IRCA según el artículo 12 del Decreto 2115 de 2007 se asignará el puntaje de riesgo contemplado en Tabla 5 para cada característica física, química y microbiológica, por no cumplir con los valores máximos permitidos.

**Tabla 8** Valores máximos aceptables y puntaje IRCA [43].

Características	Expresados como	Valor máximo	Puntaje IRCA
Color aparente	UPC	15	6
Turbiedad	UNT	2	15
pH	H3O+	6.5 - 9	1.5
Color residual libre	mg Cl <sub>2</sub> / L	0.3 – 2	15
Alcalinidad total	mg CaCO <sub>3</sub> / L	200	1
Calcio	mg Ca / L	60	1
Fosfatos	mg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> / L	0.5	1
Manganeso	mg Mn / L	0.1	1
Molibdeno	mg Mo / L	0.07	1
Magnesio	mg Mg / L	36	1
Zinc	mg Zn / L	3	1
Dureza total	mg CaCO <sub>3</sub> / L	300	1
Sulfatos	mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> / L	250	1
Hierro total	mg Fe / L	0.3	1.5
Cloruros	mg Cl <sup>-</sup> / L	250	1
Nitratos	mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> / L	10	1
Nitritos	mg NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> / L	0.1	3
Aluminio	mg Al <sup>3+</sup> / L	0.2	3
Fluoruros	mg F <sup>-</sup> / L	1	1
COT	mg COT <sup>-</sup> / L	5	3
Coliformes totales	UFC/100 cm <sup>3</sup>	0	15
<i>Escherichia coli</i>	UFC/100 cm <sup>3</sup>	0	25

El valor del IRCA es cero (0) puntos cuando cumple con los valores aceptables para cada una de las características físicas, químicas y microbiológicas contempladas en la presente Resolución y cien puntos (100) para el más alto riesgo cuando no cumple ninguno de ellos. Para el cálculo del Índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano (IRCA), ecuación 1, [43].

**Ecuación 1** Expresión para el cálculo del índice de riesgo de calidad del agua (IRCA) por muestra [43].

$$IRCA = \frac{\sum \text{puntajes de riesgo asignado a las características no aceptables}}{\sum \text{puntajes de riesgo asignados a todas las características analizadas}} \times 100$$

Teniendo en cuenta los resultados del IRCA por muestra y del IRCA mensual, se define la siguiente clasificación del nivel de riesgo del agua suministrada para el consumo humano por la persona prestadora y se señalan las acciones que debe realizar la autoridad sanitaria competente, Tabla 9.

**Tabla 9** Clasificación del nivel de riesgo en salud según el IRCA por muestra y el IRCA mensual y acciones que deben adelantarse [43].

Clasificación IRCA (%)	Nivel de Riesgo	IRCA por muestra (Notificaciones que adelantará la autoridad sanitaria de manera inmediata)	IRCA mensual (Acciones)
80.1 -100	Inviabile Sanitaria Mente	Informar a la persona prestadora, al COVE, Alcalde, Gobernador, SSPD, MPS, INS, MAVDT, Contraloría General y Procuraduría General.	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de acuerdo a su competencia de la persona prestadora, alcaldes, gobernadores y entidades del orden nacional.

35.1 - 80	<b>Alto</b>	Informar a la persona prestadora, COVE, Alcalde, Gobernador y a la SSPD.	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de acuerdo a su competencia de la persona prestadora y de los alcaldes y gobernadores respectivos.
14.1 – 35	<b>Medio</b>	Informar a la persona prestadora, COVE, Alcalde y Gobernador.	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de la persona prestadora.
5.1 - 14	<b>Bajo</b>	Informar a la persona prestadora y al COVE.	Agua no apta para consumo humano, susceptible de mejoramiento.
0 - 5	<b>Sin Riesgo</b>	Continuar el control y la vigilancia.	Agua apta para consumo humano. Continuar la vigilancia.

### 3.1.4.2. Índice de Calidad del Agua de la Fundación Nacional de Saneamiento (en inglés

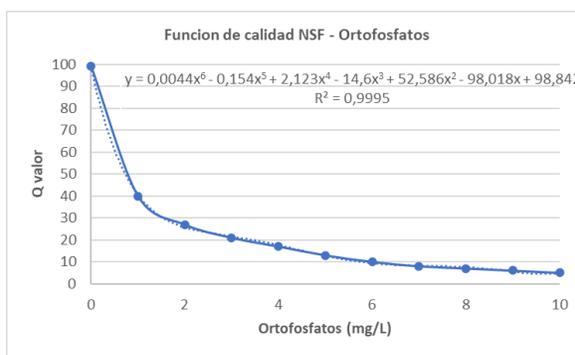
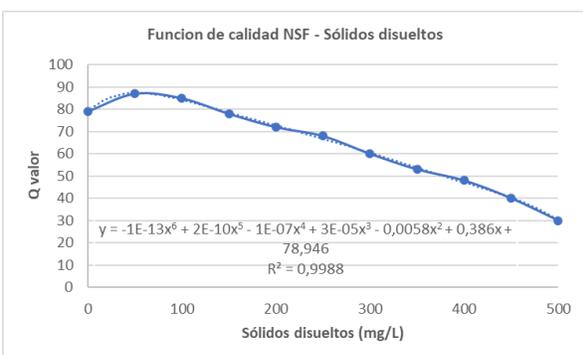
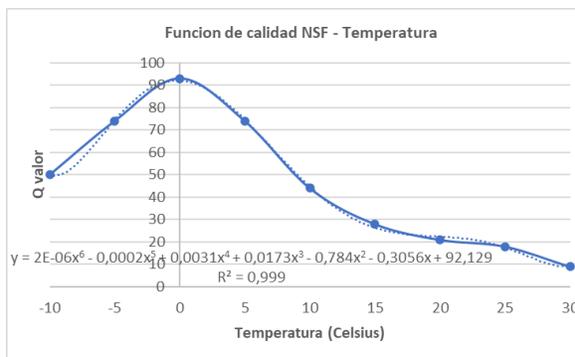
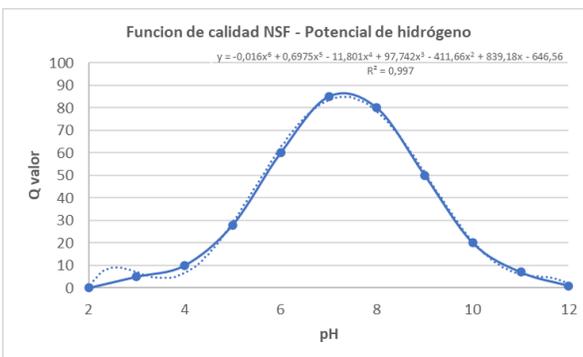
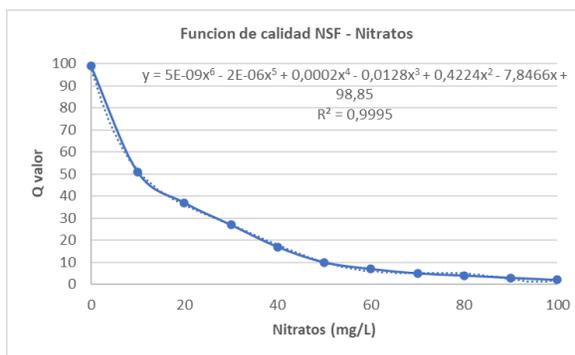
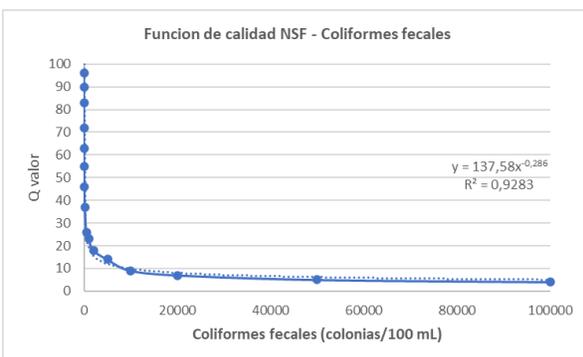
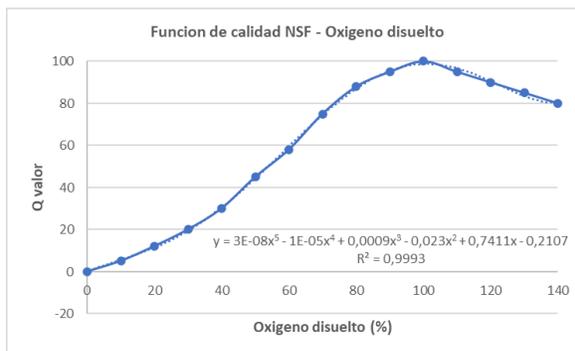
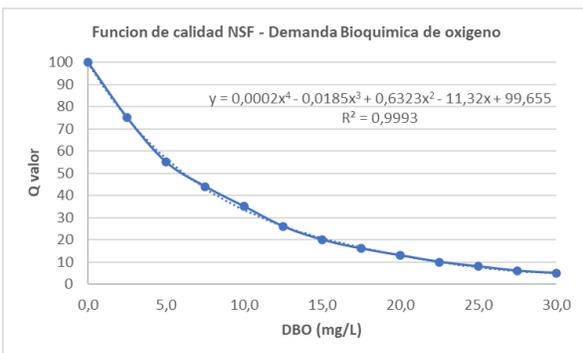
**como: Water Quality Index The National Sanitation Foundation (WQI<sub>NSF</sub>)**

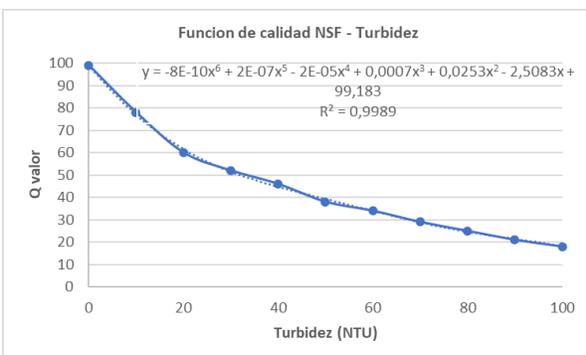
La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, en 1970 se planteó un índice de calidad que tiene en cuenta 3 usos: contacto directo del humano, contacto indirecto y el contacto con el agua remoto. Este está basado en la estructura del índice de Horton y en el método Delphi para definir los parámetros, pesos ponderados, subíndices I<sub>i</sub> y su clasificación a ser empleados en el cálculo (panel de expertos). Adicionalmente, el índice fue desarrollado como una herramienta para caracterizar en forma general la calidad de las aguas, de tal forma que procesos físicos, químicos o biológicos que indican alta degradación de las aguas pueden ser enmascarados por otros que no sugieren contaminación alguna (o mínima) [44].

Este índice trabaja a partir de una función de valores relativos, en dónde se relaciona el valor medido y el valor permitido para un uso específico. Además, hace una relación entre mediciones en diferentes tiempos. El indicador analiza nueve parámetros de calidad del agua, siendo estos: oxígeno disuelto, coliformes fecales, pH, Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), Cambio de temperatura (desde 1 milla río arriba), fosfato total, nitrato, turbidez, y Sólidos totales [44].

Posteriormente se grafica el nivel de calidad del agua que oscila entre 0 (peor) y 100 (mejor) a partir de los datos brutos para cada conjunto de mediciones, se promedian los valores de cada curva y de esta manera obtener una curva de ponderación para cada parámetro. Y finalmente, los resultados de los nueve parámetros se comparan con las curvas y se obtiene un valor numérico o Q valor [44].

**Gráfica 1.** Gráficas de función de calidad NSF para obtener los Q valor de los parámetros de análisis del Indicador  $WQI_{NSF}$  [43].





Finalmente, para cada Q valor se multiplica por el factor de ponderación NSF según la Ecuación 2.

**Ecuación 2** Expresión para el cálculo del índice Índice  $WQI_{NSF}$  y valores de ponderación [44].

$Q_i$ : Q valor para cada parámetro

$W_i$ : Valor de ponderación para cada parámetro

$$WQI_{NSF} = \sum_{i=1}^9 Q_i \times W_i$$

Parámetro de calidad	$W_i$
% Saturación de oxígeno disuelto	0,17
Coliformes fecales	0,16
pH	0,11
Demanda bioquímica de oxígeno	0,11
Nitratos	0,1
Fosfatos	0,1
Cambio en la temperatura	0,1
Turbiedad	0,08
Sólidos disueltos totales	0,07

Después de determinar el índice de calidad para el punto de muestreo, este se debe comparar con los rangos de clasificación de la calidad del agua, Tabla 7.

**Tabla 10** Clasificación de calidad de agua en función del índice  $WQI_{NSF}$  [44].

Valor del Índice	Clasificación	Leyenda
0-25	Muy mala	
26-50	Mala	
51-70	Media	
71-90	Buena	
91-100	Excelente	

### 3.1.4.3. Dinius

Desarrollados en Estados Unidos por Dinius, el primero en 1972 y el segundo en 1987, está conformado por 12 parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, adicionalmente está basado en el método Delphi y evalúa la calidad general del agua teniendo en cuenta su idoneidad para seis usos del agua: consumo humano (agua pública y abastecimiento), agricultura, pesca y vida acuática, industrial y recreación [45].

Si como el ICA – NSF emplea para su cálculo el producto ponderado, comúnmente conocido como ecuación de tipo multiplicativo. Las concentraciones de cada parámetro se transforman en valores numéricos sin unidades aplicando las funciones de subíndice correspondientes [45].

Luego, los valores del subíndice normalizados tienen asignados pesos de ponderación para cada parámetro que se combinan en una agregación multiplicativa, de la cual se deriva el índice general. El índice final de Dinius es un único valor numérico entre 0 y 100. Sin embargo, este valor no corresponde a una determinada clase de calidad sino a una diferente para cada uso del agua considerado, Ecuación 2 [45].

**Ecuación 3** Expresión para el cálculo del índice Dinius y valores de ponderación [45].

$$WQI_{Dinius} = \prod_{i=1}^{12} I_i^{W_i}$$

$I_i$  es la escala de calidad del subíndice de la variable  $i$  (entre 0 y 100)

$W_i$  es el peso ponderado de la variable  $i$  (entre 0 y 1, y  $\sum_{i=1}^{12} W_i = 1$ )

Parámetro de calidad	$W_i$
Temperatura	0,077
Oxígeno disuelto (OD)	0,109
Demanda química de oxígeno (DQO)	0,097
Alcalinidad total	0,063
Color	0,063
Dureza total	0,065
pH	0,077
Conductividad	0,079
Cloruros	0,074
Nitratos	0,09
Coliformes totales	0,09
Coliformes fecales	0,116

El valor obtenido permite clasificar el recurso a partir de una escala de 5 rangos de clasificación de calidad del agua.

**Tabla 11** Clasificación de calidad de agua en función del índice  $WQI_{DINIUS}$  [45].

Valor del Índice	Clasificación	Leyenda
0-40	Muy mala	
41-50	Mala	
51-80	Media	
81-90	Buena	
91-100	Excelente	

#### 3.1.4.4. Índice de calidad del agua potable (en inglés como: como Drinking Water Quality Index (DWQI))

El Índice de programación ambiental de las Naciones Unidas (en inglés como: United Nation Environment Programme, (UNEP)) en 2007 hace parte de uno de los índices más recientes, el cual propone una estructura de cálculo orientada a una evaluación más amplia de calidad del agua (variación en el tiempo y el espacio) en el cual se evalúa para un periodo de tiempo determinado – usualmente un año- el número de parámetros que exceden un punto de referencia (normatividad vigente de acuerdo con el uso estudiado), el número de registros que superan este punto y la magnitud en que se supera esta referencia. Se aplica a las fuentes de abastecimiento a ser usadas para producir agua potable y que fue desarrollado ante la necesidad de evaluar la situación mundial de las fuentes de captación [46].

Al ser un índice desarrollado en los últimos años contempla parámetros como los metales pesados, los cuales están relacionados con el riesgo químico y cuya evaluación se centra en la destinación del recurso para consumo humano previa potabilización [46].

Esta selección de parámetros se dio según recomendaciones de la guía de la OMS para monitoreo y evaluación de la calidad química del agua potable en los cuales los parámetros son agrupados en dos categorías: salud y aceptabilidad, razón por la cual el DWQI se subdivide en dos índices, el ICA salud (en inglés como: Human Water Quality Index - HWQI) y el ICA aceptación (en inglés como: Aceptation Water Quality Index - AWQI), los cuales consideran parámetros relacionados con la problemática a evaluar [45].

El proceso realizado es igual al Índice de Calidad del Agua del Consejo Canadiense de Ministros de Medio Ambiente (en inglés como: Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index (CCME\_WQI)) el cual fue desarrollado para simplificar el reporte de los datos de calidad de las aguas. Es una herramienta para generar resúmenes de los datos de calidad útiles tanto para técnicos como para políticos, así como para el público en general interesado en ese conocimiento. No es un sustituto de los análisis detallados de la calidad de las aguas [46].

Este índice se basa en la determinación de tres factores que representan alcance, frecuencia y amplitud. El alcance (F1) define el porcentaje de variables que tienen valores fuera del rango de niveles deseables para el uso que se esté evaluando respecto al total de variables consideradas. La frecuencia (F2) se halla por la relación entre la cantidad de valores fuera de los niveles deseables respecto al total de datos de las variables estudiadas. Mientras la amplitud es una medida de la desviación que existe en los datos, determinada por la magnitud de los excesos de cada dato fuera de rango al compararlo con su umbral, Ecuación 3, [46].

**Ecuación 3** Expresión para el cálculo del Drinking Water Quality Index (DWQI) [46].

$$DWQI = 100 - \left( \frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1.732} \right)$$

F1: Alcance  
F2: Frecuencia  
F3: Amplitud

**Alcance:**

$$F_1 = \frac{\# \text{ de variables fuera del rango}}{\text{Total de variables}} * 100$$

**Amplitud:**

$$F_3 = \left( \frac{nse}{0.01(nse) + 0,01} \right) * 100$$

**Frecuencia:**

$$F_2 = \frac{\# \text{ de datos fuera del rango}}{\text{Total de datos}} * 100$$

**Suma normalizada de excesos**

$$nse = \frac{\sum \text{Rango de exceso}}{\text{Total de datos}}$$

$$\text{Rango de exceso} = \left( \frac{\text{Valor excedido}}{\text{rango}} \right) - 1$$

Para la clasificación del agua después del cálculo del índice se utiliza:

**Tabla 12** Clasificación de calidad de agua en función del índice DWQI [46].

Valor del Índice	Clasificación	Leyenda
0-44	Pobre	
45-64	Marginal	
65-79	Regular	
80-94	Buena	
95-100	Excelente	

### 3.1.4.5. Índice simplificado de calidad del agua (ISQA)

En España, Queralt en el año 1982 desarrolló el índice simplificado de calidad del agua (ISQA) para las cuencas de Cataluña, el cual se basó en 5 parámetros fisicoquímicos y planteó una clasificación de la calidad del agua para 6 usos específicos del recurso, entre los cuales se destaca el abastecimiento para consumo humano. El ISQA es un número adimensional que permite operar con muy pocos parámetros analíticos y a la vez ofrece garantía en los resultados, Ecuación 4, [47].

**Ecuación 4** Expresiones para el cálculo del índice simplificado de calidad del agua (ISQA).

$$ISQA = T(A+B+C+D)$$

En donde:

<b>T</b> , es función de la temperatura del agua del río medida en °C. su valor asignado varía entre 0.8 y 1.	Si $t \leq 20^{\circ}\text{C}$ entonces $T = 1$ Si $t > 20^{\circ}\text{C}$ entonces $T = 1 - (t - 20) * 0.0125$
<b>A</b> , es función de la oxidabilidad y corresponde al oxígeno consumido en una oxidación con $\text{MnO}_4\text{K}$ en ebullición y medio ácido, (a) expresada en mg/L (DQO). Incluye el contenido orgánico, tanto si es natural como si no lo es. Varía entre 0 y 30.	Si $a \leq 10$ entonces $A = 30 - a$ Si $60 > a > 10$ entonces $A = 21 - (0,35 * a)$ Si $a > 60$ entonces $A = 0$
<b>B</b> es función de la materia en suspensión (sólidos suspendidos SST) en mg/L que puede separarse por filtración. Este parámetro incluye contaminación orgánica, inorgánica, industrial y/o urbana. Tiene mucha influencia en la fotosíntesis. Varía entre 0 y 25.	Si $SST \leq 100$ entonces $B = 25 - (0,15 * SST)$ Si $250 > SST > 100$ entonces $B = 17 - (0,07 * SST)$ Si $SST > 250$ entonces $B = 0$
<b>C</b> , es función del oxígeno disuelto ( $\text{O}_2$ ) en el agua en mg/L. Su concentración está en relación con la oxibilidad y con el contenido de materia orgánica biodegradable. Varía entre 0 y 25.	$C = 2,5 * \text{O}_2 \text{ disuelto}$ Si $\text{O}_2 \text{ disuelto} \leq 10$ entonces $C = 25$
<b>D</b> , es función de la conductividad eléctrica expresada en $\mu\text{S}/\text{CM}$ (C) a $18^{\circ}\text{C}$ . Mide la concentración de sales inorgánicas. Si la conductividad se ha medido a $25^{\circ}\text{C}$ para convertirla a $18^{\circ}\text{C}$ se debe multiplicar por 0,86. Varía entre 0 y 20.	Si conductividad $\leq 4000$ entonces $D = (3,6 - \text{Log } c) * 15,4$ Si es $> 4000$ entonces $D = 0$

El rango de valores de este índice va de 0 para valores pésimos hasta 100 para valores óptimos, Tabla 13.

**Tabla 13** Clasificación de calidad de agua en función del índice ISQA, [47].

Valor del Índice	Clasificación	Leyenda
0-25	Muy mala	
26-50	Mala	
51-70	Media	
71-90	Buena	
91-100	Excelente	

### 3.1.4.6. Índice de Calidad del Agua Bruta para Fines de Abastecimiento Público (en portugués

**como: Índice de Qualidade das Águas Brutas para Fins de Abastecimento Público (IAP))**

Este índice se calcula en los puntos de muestreo de los ríos y embalses utilizados para el suministro público de agua. Es el producto resultante de dos índices, IQA (índice de calidad de agua) e ISTO (índice de sustancias tóxicas y organolépticas) y está conformado por diferentes funciones de agregación; el IQA, al ser una adaptación del ICA-NSF, emplea una ecuación basada en el promedio ponderado y en el caso del ISTO, la ecuación emplea el producto de la ponderación de los dos subíndices mínimos más críticos del grupo de sustancias tóxicas (ST) por la ponderación obtenida a través de la media aritmética de los subíndices del grupo de sustancia organolépticas (SO) [48].

El índice es compuesto por tres grupos principales de variables:

IQA – Grupo de variables básicas (temperatura del agua, pH, oxígeno disuelto, demanda

CETESB: bioquímica de oxígeno, coliformes termotolerantes, nitrógeno total, fosforo total, residuo total y turbidez) [48].

ISTO - variables que indican la presencia de sustancias toxicas (potencial de formación de ST trihalometano THM, numero de cianobacterias, cadmio, plomo, cromo total, mercurio y níquel) [48].

ISTO - Grupo de variables que afectan a la calidad organoléptica (hierro, manganeso, aluminio, SO cobre y zinc) [48].

Las variables que indican la presencia de sustancias tóxicas y que afectan a la calidad organoléptica están agrupadas en el índice de sustancias tóxicas y organolépticas ISTO utilizado para determinar el IAP, a partir del IQA original (CETESB) [48].

Para cada parámetro se establecen curvas de calidad que asigna ponderaciones que varían de 0 a 1. Las curvas de calidad son hechas utilizando dos niveles de calidad ( $q_i$ ) que se asocian a los valores numéricos 1 y 0,5, respectivamente, como el límite inferior (LI) y el límite superior (LS). De esta manera, se consideró el límite inferior para cada una de estas variables como los estándares de potabilidad establecidos en la Ordenanza No 888 de 2021 del Ministerio de Salud, y para el límite superior se consideraron los estándares de calidad del agua dulce clase 3 de la Resolución CONAMA No 357 de 2005. [48].

En los casos en que el estándar de calidad de agua fuera igual al estándar de potabilidad, se adopta un nivel de concentración para el límite superior que fuera posible de ser removido por medio del tratamiento convencional. Por ejemplo, de acuerdo con la OMS, el cromo tiene una tasa de eliminación en el tratamiento convencional que varía de 0 al 30%. Al aplicar una tasa de eliminación promedio del 15% al límite inferior, se obtiene un límite superior de 0,059 mg/L. Entonces, si el valor medido  $\leq$  LI entonces  $q_i = 1$ , de lo contrario  $q_i = 0,5^{(\text{Valor medido} - \text{LI})/(\text{LS} - \text{LI})}$  [48].

Las bandas de variación de calidad ( $q_i$ ), que se asignan a los valores medidos reflejan las siguientes condiciones de calidad del agua cruda destinada al abastecimiento público:

Valor medido  $\leq$  LI: aguas adecuadas para consumo humano.

LI < Valor medido  $\leq$  LS: aguas adecuadas para tratamiento convencional o avanzado.

Valor medido > LS: Aguas que no deben someterse únicamente a un tratamiento convencional.

En la siguiente tabla se relacionan los límites inferiores y superiores adoptados para las variables:

**Tabla 14** Límite inferior y superior según la variable de estudio para el índice ISTO [48].

<b>Grupo</b>	<b>Variable</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite inferior</b>	<b>Límite superior</b>
Tóxicos	Cadmio	mg/L	0,003	0,01
	Plomo	mg/L	0,01	0,033
	Cromo total	mg/L	0,05	0,059
	Níquel	mg/L	0,02	0,025
	Mercurio	mg/L	0,001	0,002
	THM	ug/L	373	461
Organolépticos	Aluminio	mg/L	0,2	2
	Cobre	mg/L	2	8
	Hierro	mg/L	0,3	5
	Manganeso	mg/L	0,1	0,5
	Zinc	mg/L	5	5,9

En ambientes lenticos, una característica importante de la calidad del agua para el suministro público es la participación del componente biológico (algas). Con el apoyo de regulaciones como la Ordenanza de potabilidad No 518/2004 del Ministerio de Salud y resolución CONAMA No 357/2005, establecieron estándares de calidad para el número de células de cianobacterias, y decidió incluir esta variable en el ISTO. En los puntos de muestreo ubicados en ambientes lenticos y utilizados para el suministro público, el número de células de cianobacterias es una variable obligatoria para el cálculo del IAP; en los demás puntos, es opcional. Por lo tanto, a través de las curvas de calidad, se determinan los valores de calidad normalizados,  $q_i$  para cada una de las variables del ISTO [48].

La ponderación del grupo de sustancias tóxicas (ST) se obtiene multiplicando los dos valores mínimos más críticos del grupo de variables que indican la presencia de estas sustancias en el agua. Luego, la ponderación del grupo de sustancias organolépticas (SO) es obtenida a través de la media aritmética de las calidades estandarizadas de las variables pertenecientes a este grupo. Posteriormente, El ISTO es el resultado del producto de los grupos de sustancias tóxicas y de aquellas que alteran la calidad organoléptica del agua. Luego El IQA se calcula mediante la producción ponderada de las calidades del agua correspondientes a las variables que componen el índice. y finalmente, el IAP es calculado a partir del producto entre el antiguo ICA y el ISTO [48].

**Ecuación 5** Expresión para el cálculo del ST del ISTO [48].

$$ST = \text{Min-1} (q_{\text{THMFP}}; q_{\text{Cd}}; q_{\text{Cr}}; q_{\text{Pb}}; q_{\text{Ni}}; q_{\text{Hg}}; Q_{\text{NCC}}) \times \text{Min-2} (q_{\text{THMFP}}; q_{\text{Cd}}; q_{\text{Cr}}; q_{\text{Pb}}; q_{\text{Ni}}; q_{\text{Hg}}; Q_{\text{NCC}})$$

ST: valor de sustancias tóxicas  
 $q_{\text{THMFP}}$ ;  $q_{\text{Cd}}$ ;  $q_{\text{Cr}}$ ;  $q_{\text{Pb}}$ ;  $q_{\text{Ni}}$ ;  $q_{\text{Hg}}$ ;  $Q_{\text{NCC}}$ :  
 valores de calidad normalizados  $q_i$  de Cadmio, Plomo, Cromo total, Níquel, y Mercurio respectivamente

**Ecuación 6** Expresión para el cálculo del SO del ISTO [48].

$$SO = \text{Media aritmética} (q_{\text{Al}}; q_{\text{Cu}}; q_{\text{Zn}}; q_{\text{Fe}}; q_{\text{Mn}})$$

SO: valor de sustancias orgánicas  
 $q_{\text{Al}}$ ;  $q_{\text{Cu}}$ ;  $q_{\text{Zn}}$ ;  $q_{\text{Fe}}$ ;  $q_{\text{Mn}}$  valores de calidad normalizados  $q_i$  de Cadmio, Aluminio, Cobre, Hierro, Manganeso, Zinc respectivamente

**Ecuación 7** Expresiones para el cálculo del índice de riesgo de calidad del agua (ISTO) [48].

$$ISTO = ST \times SO$$

ISTO índice de riesgo de calidad del agua  
 ST: valor de sustancias tóxicas  
 SO: valor de sustancias orgánicas

**Ecuación 8** Expresiones para el cálculo del índice de riesgo de calidad del agua ( $IQ_{\text{ACETESB}}$ , Brasil) [48].

$$IQ_{\text{ACETESB}} = \prod_{i=1}^n q_i^{W_i}$$

Donde:  
 IQA: Índice de calidad del agua, un numero entre 0 y 100  
 $q_i$ : calidad del i-ésimo parámetro, un numero entre 0 y 100, obtenido de la respectiva curva media de variación de calidad, en función de su concentración o medida  
 $W_i$ : peso correspondiente al i-ésimo parámetro, un numero entre 0 y 1, atribuido en función de su importancia para la conformación global de calidad.  
 n: número de variables que entran al cálculo de IQA

**Ecuación 9** Expresiones para el cálculo del índice de riesgo de calidad del agua (IAP) [48].

$$IAP = IQ_{\text{ACETESB}} \times ISTO$$

IQA: Índice de calidad del agua  
 ISTO índice de riesgo de calidad del agua

**Tabla 15** Clasificación de calidad de agua en función del índice IAP, [48].

Valor del Índice	Clasificación	Leyenda
<19	Pésimo	
19-36	Mala	
36-51	Regular	
51-79	Buena	
79-100	Optima	

### 3.1.4.7. El proyecto AMOEBA

El Método General de Evaluación Ecológica y Biológica (AMOEBA) consiste en un método general de valoración ecológica y biológica originado en el proyecto de cooperación internacional entre la oficina central para el control de la contaminación de la India y el programa de cooperación internacional del

gobierno Holandés, enfocándose en establecer un programa de monitoreo en el Rio Yamuna en la India, debido a la urgente necesidad de implementar técnicas adecuadas para determinar la calidad del agua [49].

AMOEBa es una representación gráfica de la descripción y valoración de ecosistemas acuáticos. Este método da una visión del estado ecológico de un sistema en relación con una situación de referencia y es útil para ser usado por realizadores de políticas ambientales y personas que toman decisiones [49].

La valoración de la calidad del agua del rio Yamuna, estuvo basada en datos de monitoreos químicos, bacteriológicos y ecológicos, los cuales fueron:

- Índice de contaminación bacterial (BPI Bacterial pollution index)
- Índice de contaminación por nutrientes (NPI Nutrient pollution index)
- Índice de producción-respiración (PRI Production respiration index)
- Índice de contaminación orgánica (OPI Organic pollution index)
- Índice saprobio bentónico (BSI Benthic saprobity index)
- Índice de diversidad biológica (BDI Biological diversity index)
- Índice de contaminación industrial (IPI Industrial pollution index)
- Índice de contaminación por pesticidas (PPI Pesticide pollution index)

En este aspecto se asume que el ecosistema no manipulado o escasamente manipulado, ofrece las mejores garantías para la preservación de estos valores, es decir, se convierte en un sistema de referencia. Los métodos pueden basarse en la comparación cronológica, en la cual, el estado de referencia es un periodo en el pasado, donde los disturbios en el sistema no fueron significativos como hoy [49].

Cada uno de estos índices es derivado de un conjunto de variables que pueden variar acorde con los requerimientos regionales. El peso dado a cada una de las variables por índice es igual, así como el peso de cada índice relativo a otros índices. Todos los índices individuales son expresados en una escala de 0-100, donde 0 indica la peor condición ambiental imaginable y 100 demuestra un ambiente completamente natural que no está influenciado por el hombre [49].

El valor objetivo es el valor deseable de cada índice en el cual la protección ambiental y el desarrollo sustentable se logran. Cuando el valor del índice se incrementa o llega a su valor deseado, la calidad del agua mejora. Cuando el valor objetivo aun es visible, indica que las condiciones ambientales se desvían negativamente de las condiciones deseadas. Si la región roja no es visible, las condiciones ambientales son iguales o mejores que los valores deseables y ninguna acción de protección adicional es necesaria, Tabla 13 [49].

**Tabla 16** Valores deseables para condiciones de aguas dulces según el índice en proyecto AMOEBA [49].

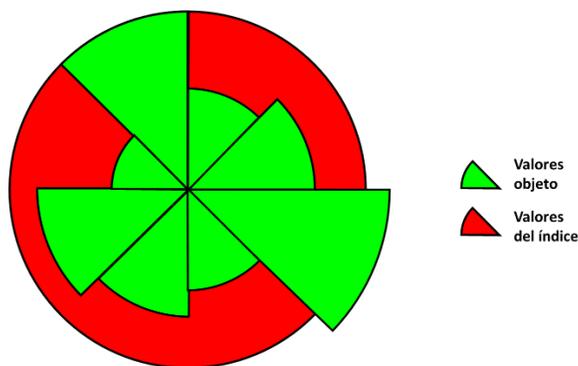
<b>Índice</b>	<b>Valor deseable</b>
BPI Bacterial pollution index	90
NPI Nutrient pollution index	70
PRI Production respiration index	70
OPI Organic pollution index	70
BSI Benthic saprobity index	60-80
BDI Biological diversity index	70
IPI Industrial pollution index	90
PPI Pesticide pollution index	90

La magnitud del índice individual y del valor deseable es expresada en un radio de magnitud variable que es re escalado para unificar el radio del valor objetivo de cada índice, Ecuación 9.

**Ecuación 10** Expresiones para el cálculo del índice de riesgo de calidad del agua (IAP) [49].

$$\text{Valor del índice es reescalado} = \frac{\text{Valor del índice}}{\text{Valor objetivo}} \times 100$$

La figura AMOEBA, es un tipo de radar en la que la magnitud de los índices y las escalas son proporcionales a los radios. Luego de reescalar el radio de todos los índices, su valor individual demostrará si excede o está dentro de los límites estipulados, Figura 1, [49].



**Figura 1.** Radar para la representación de los índices y valores objeto en el proyecto AMOEBA, [49].

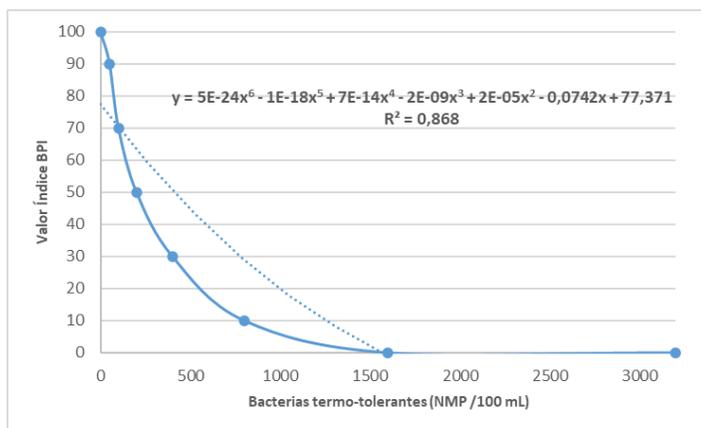
Posteriormente, los valores son representados, el valor del índice reescalado es representado en verde dentro del círculo cuyo exterior representa el valor objetivo. Cuando la zona roja del círculo es visible, indica que las condiciones ambientales se desvían negativamente de las condiciones deseables. El ancho del sector entre ellos (índice-objetivo) está relacionado con los aspectos específicos de contaminación y proporciona una pista sobre las acciones correctivas que deben tomarse [49].

### ***Índice de contaminación bacteriana (Bacterial pollution index BPI)***

El número de bacterias termo-tolerantes es mensualmente evaluado bajo el Numero más Probable (NMP) por tubos múltiples de fermentación o mediante la técnica de filtración de membrana. El numero hallado

es transformado a un índice de calidad de agua de 0 a 100 por comparación con la función de calidad a continuación, donde 100 representa condiciones perfectas y 0 condiciones inaceptables de cargas de bacterias fecales. La función de calidad sugerida esta basada en la categoría del “Mejor Uso Designado” [49].

**Gráfica 2.** Función de Calidad AMOEBA BPI [49].



**Índice de contaminación por nutrientes (Nutrient Pollution Index NPI)**

El índice de contaminación por nutrientes es calculado de medidas mensuales de las siguientes variables: Amonio, nitrógeno total, nitritos más nitratos, fosforo total, ortofosfatos, pH, clorofila a, conductividad y turbidez Ecuacion 8, y Tablas 3 a 11

**Ecuación 11** Expresiones para el cálculo del índice de contaminación por nutrientes (NPI) [49].

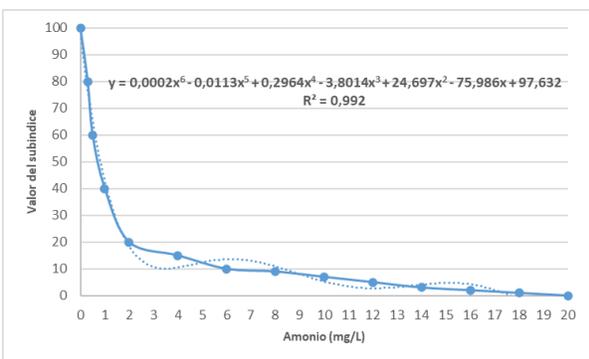
$$NPI = e^{\sum_1^n \ln(PQI)_n * W_n}$$

Donde:

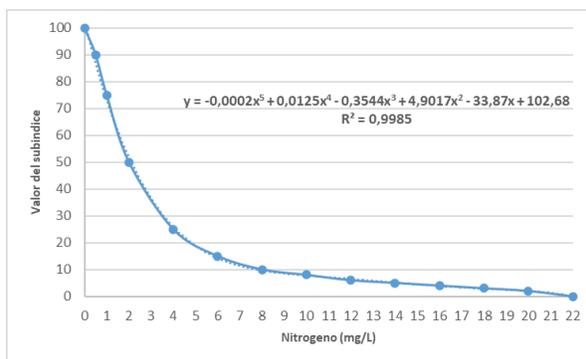
PQI = índice de calidad para el n-ésimo parámetro, consistente en un numero adimensional entre 0 y 100. Estos índices de calidad son derivados de curvas de calidad de las variables, que son construidas de acuerdo con los valores objetivo de acuerdo con referencias.

$W_n$  = factor de ponderación para el n-ésimo parámetro. Debe ser igual a  $1/n = 1/9$ . En caso de valores reportados o faltantes,  $W_n$  debe calcularse de acuerdo con el número de variables existentes.

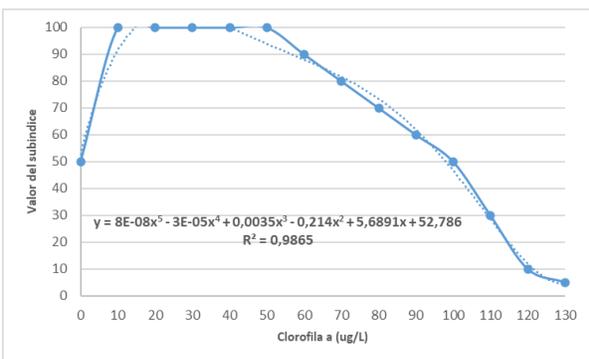
**Gráfica 3.** Función de Calidad Amonio [49].



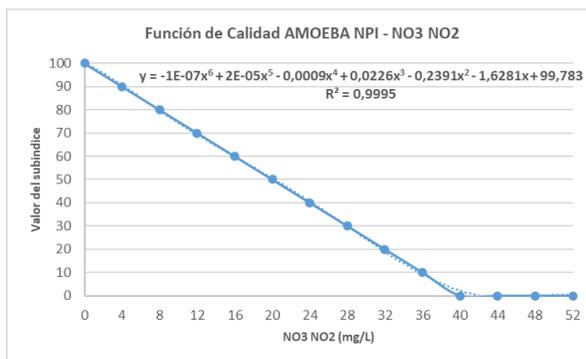
**Gráfica 4.** Función de Calidad Nitrogeno Total Keldahl [49].

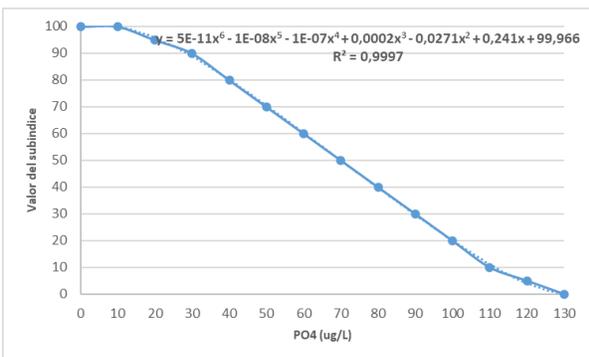
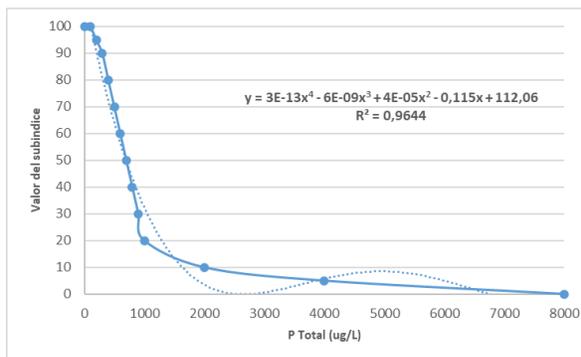
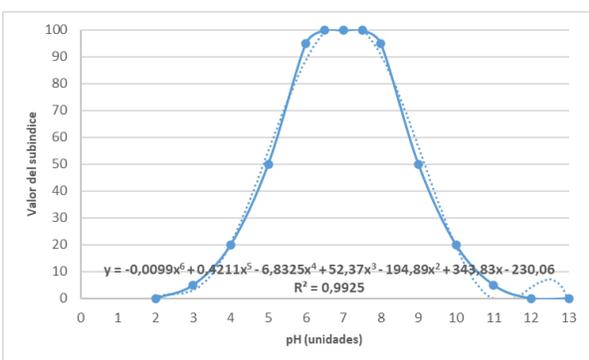
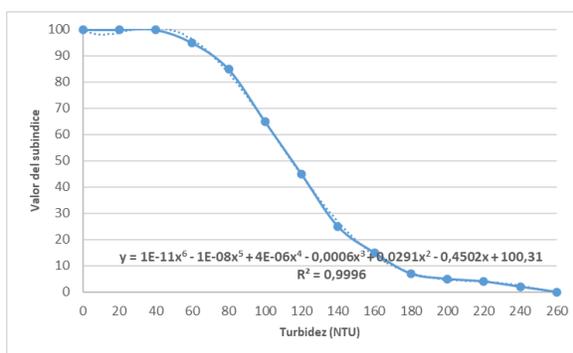
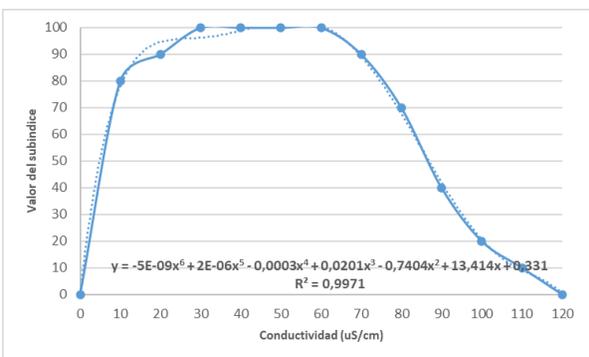


**Gráfica 5.** Función de Calidad AMOEBA Clorofila a [49].



**Gráfica 6.** Función de Calidad AMOEBA NO3 NO2 [49].



**Gráfica 7.** Función de Calidad Ortofosfatos [49].**Gráfica 8.** Función de Calidad Fósforo Total [49].**Gráfica 9.** Función de Calidad pH [49].**Gráfica 10.** Función de Calidad Turbidez [49].**Gráfica 11.** Función de Calidad Conductividad [49].

### ***Índice de contaminación orgánica (Organic Pollution Index OPI)***

El índice está relacionado con la disponibilidad de oxígeno y se calcula a partir de las variables de amonio, DBO, DQO, OD y temperatura. El amonio es influenciado por los niveles de nutrientes y oxígeno (incluido en los índices: OPI y NPI), las concentraciones medidas son transformadas a un índice de calidad, en una

escala de 0 a 100 por comparación con una función de calidad, donde 100 representa condiciones perfectas y 0 condiciones inaceptables. La expresión corresponde a un promedio geométrico de las variables [49].

**Ecuación 12** Expresiones para el cálculo del índice de contaminación por nutrientes (OPI) – AMOEBA [49].

$$OPI = e^{\sum_1^n \ln(PQI)_n * w_n}$$

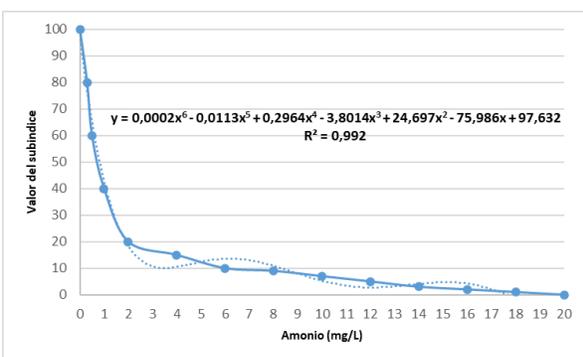
OPI: Índice de contaminación orgánica

PQI Ln: Índice de calidad para el n-ésimo parámetro, el cual es un número adimensional entre 0 y 100.

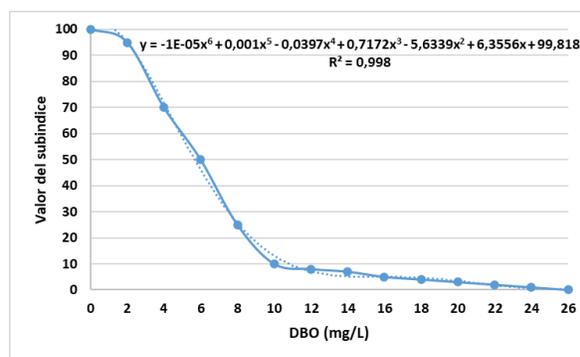
Wn: Factor de ponderación para el n-ésimo parámetro. Todas las variables tienen un peso igual a 1/n. en caso de valores no registrados, Wn debe ser calculado de acuerdo con el número de valores faltantes. Nótese que la suma de todos los factores de ponderación debe ser igual a 1.

Las funciones de calidad se muestran en las Gráficas 12 a 16.

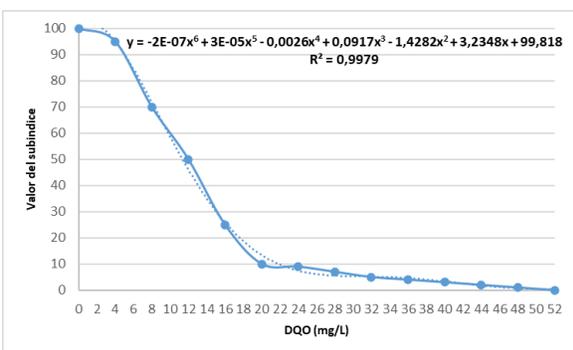
**Gráfica 12.** Función de Calidad Amonio Total [49].



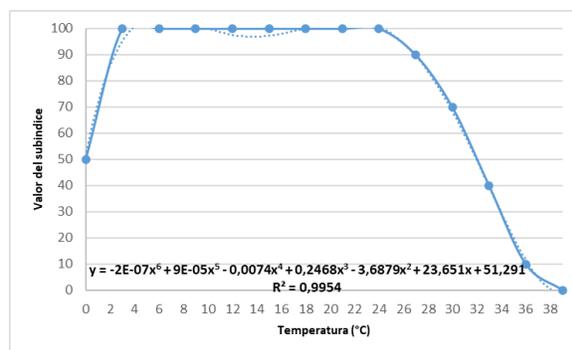
**Gráfica 13.** Función de Calidad DBO [49].



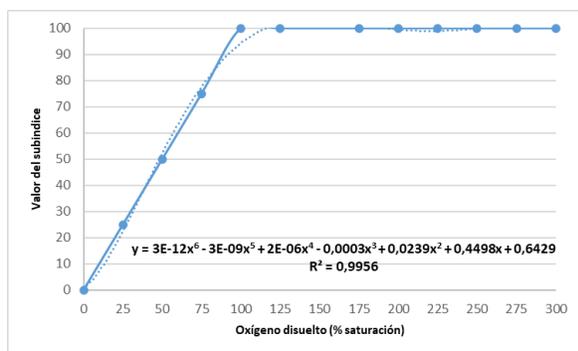
**Gráfica 14.** Función de Calidad DQO [49].



**Gráfica 15.** Función de Calidad Temperatura [49].



**Gráfica 16.** Función de Calidad OD [49].



### ***Índice de contaminación industrial (Industrial Pollution Index IPI).***

Las variables para incluir en el índice deben ser regional o localmente seleccionados de un estudio intensivo y de duración determinada de los contaminantes industriales. En adición a la fracción disuelta en agua, puede ser importante incluir la fracción adherida a los sedimentos y la fracción acumulada en los organismos. Las variables son compuestos como: metales pesados, aceites, PAH, compuestos fenólicos, cianidas, PB, etc, igualmente se recomienda su medición mensual. La curva de calidad del parámetro usada para la construcción del índice puede ser construida a partir de metodología de evaluación de riesgos en el ecosistema, basadas en pruebas de toxicidad sobre el compuesto de interés, Ecuación 13, [49].

**Ecuación 13** Expresiones para el cálculo del índice de contaminación industrial (IPI) – Proyecto AMOEBA [49].

$$IPI = e^{\sum_1^n Ln(PQI)_n * w_n}$$

A continuación, se presenta las concentraciones seguras de contaminantes en los países bajos:

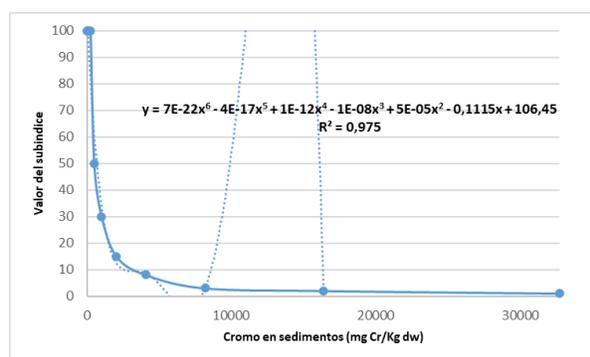
**Tabla 17** Concentraciones seguras en agua y en sedimento para variables del índice de contaminación industrial IPI – Proyecto AMOEBA [49].

<b>Compuesto o nombre del grupo</b>	<b>Concentraciones seguras en agua (ug/L)</b>	<b>Concentraciones en sedimento (mg/kg dw)</b>
Cadmio	0,16	14
Zinc	1,6	120
Níquel	1,4	7,4
Plomo	2	860
Mercurio	0,01	1,1
Cromo	2	270
Cobre	1,7	60

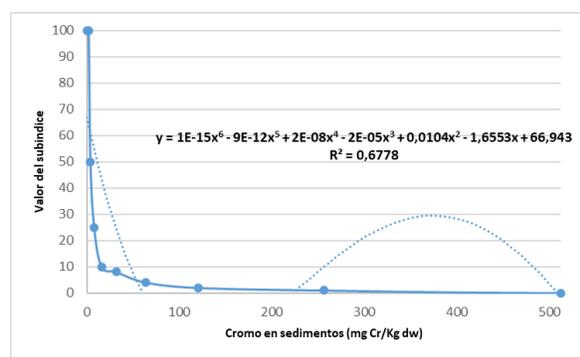
Arsénico	8,6	56
PCP	2	0,2
PAH	0,1	2
PCB (Aroclor 1248)	0,1	0,1
Aceites y grasas	50	?
Cianidas	50	12
Compuestos fenólicos	5	10

Las Tablas 17 y 18 son las funciones de calidad, para el caso del cromo en agua y sedimento:

**Gráfica 17.** Función de Calidad AMOEBA IPI - Cromo en fracción disuelta [49].



**Gráfica 18.** Función de Calidad AMOEBA IPI - Cromo en sedimentos [49].



### ***Índice de contaminación por pesticidas (Pesticide Pollution Index PPI)***

La expresión matemática y las abreviaciones son las mismas que las empleadas en el índice de contaminación por nutrientes, su ponderación se ajusta al número de variables. Las variables que incluye el índice son local o regionalmente seleccionados sobre determinaciones de contaminantes industriales o agrícolas, como organoclorados y fosforados, cuyas fracciones son determinadas en agua, sedimentos y organismos. Se recomienda, además, evaluaciones mensuales [49], y como referente se pueden tener las concentraciones holandesas para pesticidas en agua y sedimento, Tabla 15.

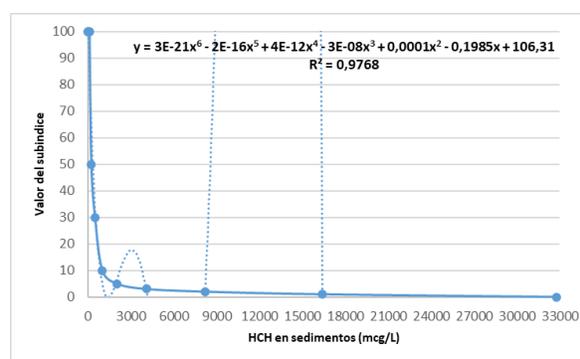
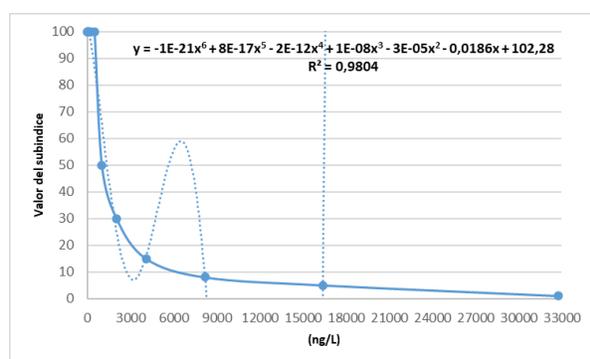
**Tabla 18** Concentraciones seguras en agua y en sedimento para compuestos del índice de contaminación por pesticidas PPI – Proyecto AMOEBA [49].

<b>Compuesto o nombre del grupo</b>	<b>Concentraciones seguras en agua (ng/L)</b>	<b>Concentraciones en sedimento (mg/kg dw)</b>
HCH	500	150
DDT + derivados	100	100
Pesticidas órgano-P (Paration)	5	5
Dieldrin	50	40
TBTO	10	10

Aldrin	50	40
Endosulfan	10	10

Las curvas de calidad pueden ser construidas por la metodología de evaluación de riesgos en ecosistemas basadas en pruebas de toxicidad in Vitro, sobre los componentes de interés. Como regla de observación, el valor más bajo de respuesta de dosificación de la curva debe ser escalada como bajo, hasta por un factor de 100 que derive un tipo de respuesta ecosistema. Con la construcción de la curva, se debe tener en cuenta que la relación concentración- respuesta es esencialmente logarítmica: doble concentración produce doble efecto. Información sobre la dosificación y respuesta puede ser hallada en la literatura, otro método para determinar la curva de calidad se puede basar en la normatividad y valores deseables, Tablas 19 y 20 [49].

**Gráfica 19.** Función de Calidad HCH Fracción Disuelta [49]. **Gráfica 20.** Función de Calidad HCH en sedimentos [49].



El valor objetivo aconsejado es de 90. Su alto valor se da por la dificultad de estimar el grado de acción del tóxico con certeza.

### ***Índice Saprobio de contaminación (The Benthic Saprobity Index BSI)***

Este índice puede ser evaluado acorde con el método desarrollado por The Biological Monitoring Working Party (BMWP). Este método involucra un inventario cualitativo de la presencia local de invertebrados bentónicos a nivel de familia. Todas las familias son clasificadas en una escala de 1 a 10, en relación con su referencia saprobio (disponibilidad de oxígeno) de calidad de agua. En la clase 1, las familias están principalmente en cuerpos de agua con marcada deficiencia de oxígeno, mientras que la clase 10 representa

organismos que se restringen a cuerpos de agua con altos niveles de oxígeno. Esta determinación se hace con la ayuda de claves taxonómicas gráficas. Su dificultad consiste en la correcta identificación del organismo [49].

Se acostumbra a hacer un muestreo micro-habitats en una sección del río para luego sumar y promediar el puntaje final de acuerdo con las familias encontradas en ese tramo al multiplicar este por un factor de 10, lo que proporciona una escala de 100 [49].

Como hecho de interés se halla que, bajo condiciones muy limpias, ríos de tierras bajas no siempre alcanzan altos puntajes como 8 a 19, lo que si se da continuamente en ríos de sistemas altos. Para evitar lo que se conoce como “el síndrome Belga”, el proyecto AMOEBA estableció valores que pueden ser regionalizados: ríos de Tierras Altas: alrededor de 80 y Tierras Bajas: Alrededor de 60 [49].

### ***Índice Biológico de Diversidad (The Biological Diversity Index BDI)***

El índice BDI, puede ser evaluado para el mismo periodo que el anterior, y cuantificarse de acuerdo con la metodología de comparaciones secuenciales de Cairns, el cual no necesita de herramientas taxonómicas, solo la simple observación. Cuando un animal es diferente al observado en la última muestra, una nueva muestra se inicia. Si no se encuentran diferencias, se detiene el muestreo [49].

**Ecuación 14** Expresiones para el cálculo de la diversidad en el índice biológico de diversidad (BDI) – Proyecto AMOEBA. [49].

$$Diversidad = \frac{Número\ Total\ de\ Muestras}{No\ Total\ de\ Organismos}$$

### ***Índice de Producción-Respiración (The Production-Respiration Index PRI)***

Para el cálculo de este índice se tiene en cuenta el rango de producción-respiración descrito por Odum, adoptado por la American Public Health Association.

La producción primaria ha sido estimada por una medida de 24 horas del oxígeno disuelto (OD) de acuerdo con la siguiente formula:

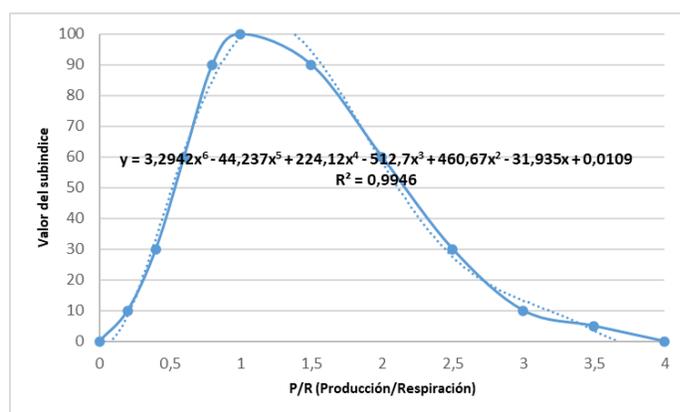
**Ecuación 15** Expresiones para el cálculo del OD según Odum para el índice de producción-respiración (PRI) – Proyecto AMOEBA [49].

$$\text{OD} = \text{Producción} - \text{Respiración} + \text{Difusión}$$

Si el delta OD, la difusión por unidad de área y el tiempo son conocidos, la curva diurna de producción puede ser estimada. La reducción del OD durante la noche, es atribuida a la respiración, entre tanto el incremento del OD en el día es el resultado de la producción primaria y la tasa de respiración. Si se asume que la tasa de respiración de día y noche es igual, la tasa de producción del día puede ser calculada. Las tasas de difusión positiva (entrada) o negativa (salida), se estima sobre la base de la temperatura y la profundidad promedio del río. Para estimar el cálculo de respiración y producción por unidad de área es necesario conocer la tasa de flujo o caudal del río [49].

La proporción de P/R semeja una campana, que esta cercana a cero en el extremo inferior lo que significan condiciones saprobias; de 3 a 4, las condiciones son extremadamente eutróficas, y el valor de 1 implica un ecosistema en balance. Esta proporción puede ser convertida en un índice de producción-respiración por la comparación de la siguiente función de calidad que es análoga al método aplicado para el índice de contaminación bacteriana BPI. Valores alrededor de 70 muestran ecosistemas estables [49].

**Gráfica 21.** Función de Calidad P/R [49].



### 3.1.4.8. Índice Universal de la Calidad del agua (en inglés como: Universal Water Quality Index (UWQI))

La metodología UWQI fue desarrollada y aplicada con el fin de obtener un índice método más sencillo para describir la calidad de las aguas superficiales utilizadas para el abastecimiento de agua potable, conformado por 11 parámetros fisicoquímicos y uno microbiológico. El cálculo se basa en las directivas de la Unión Europea para aguas a ser destinadas al consumo humano previo tratamiento, con el fin de facilitar su uso en los diferentes países que la conforman [50].

Se calcula por una ecuación de tipo aditivo o suma ponderada que es menos sensible a variaciones extremas en la calidad del agua, condiciones que limitan su uso en la evaluación de la calidad del agua en fuentes superficiales sometidas a cambios súbitos y extremos en sus características físicas, químicas y microbiológicas, Ecuación 13 [50].

**Ecuación 16** Expresiones para el cálculo del UWQI [50].

$$UWQI = \sum_{i=1}^n W_i l_i$$

Donde:

$W_i$  es el peso o porcentaje asignado al  $i$ -ésimo parámetro

$l_i$  es el subíndice del  $i$ -ésimo parámetro.

La asignación de pesos a las variables de calidad tuvo como factores: los parámetros químicos tuvieron un peso menor que los parámetros microbiológicos (porque los contaminantes microbianos pertenecen a la categoría de mayor impacto en la salud) y se da un peso alto a aquellos parámetros de conocida preocupación para la salud. Los pesos temporales oscilan entre 1 y 4 en una escala básica o media, de gran y muy gran importancia. Posteriormente, cada peso se dividió por la suma de todos los pesos para llegar al factor de peso final, Tabla 16, [50].

**Tabla 19** Pesos ponderados según el parámetro de calidad para el UWQI [50].

Categoría	Variable	Clasificación	Factor de peso
Peligro para la salud	Coliformes totales	4	0.114
	Cadmio	3	0.086
	Cianuro	3	0.086
	Mercurio	3	0.086
	Selenio	3	0.086
	Arsénico	4	0.113
	Fluoruro	3	0.086

	Nitrato-nitrógeno	3	0.086
Monitoreo operacional	OD	4	0,114
	pH	1	0,029
Agotamiento del oxígeno	DBO	2	0,057
	Total fosforo	2	0,057

El esquema de categorización del Índice se presenta a continuación:

**Tabla 20** Clasificación de calidad de agua en función del índice UWQI [50].

Rango UWQI	Clasificación	Color
0 - 24	Pobre	
25 - 49	Marginal	
50 - 74	Regular	
75 - 94	Buena	
95 - 100	Excelente	

### 3.1.4.9. Índice de Calidad para el río Cauca (ICAUCA)

En el ámbito regional y nacional, se han desarrollado diferentes estudios orientados a desarrollar o adaptar ICA acordes con las características ambientales de algunas fuentes superficiales. Rojas adaptó el ICA-NSF a las condiciones específicas del río Cauca, reduciendo el número de parámetros que lo conforman con base en el análisis del comportamiento de éstos en el tiempo y en el espacio y modificando los pesos porcentuales asignados a cada parámetro de acuerdo con su nivel de importancia en la evaluación de la calidad del agua del río Cauca [51].

Para el caso del río Cauca se definió un ICA a partir de las condiciones y dinámicas presentes en el territorio, haciéndolo más preciso para el estudio de la calidad del agua de este cuerpo de agua, determinando como variables el oxígeno disuelto, coliformes fecales, turbiedad, DBO<sub>5</sub>, sólidos suspendidos totales, color, sólidos totales, pH, fosforo total, nitrógeno total [51].

**Ecuación 17** Expresiones para el cálculo del índice de calidad para el río Cauca (ICAUCA) [50].

$$ICAUCA = \prod_{i=1}^N I_i^{W_i} = (I_1^{W_1})(I_2^{W_2}) \dots (I_n^{W_n})$$

**i:** corresponde a cada uno de los parámetros de calidad elegidos (OD, DBO<sub>5</sub>, ST, pH, etc)

**I<sub>i</sub>** es una función especial definida para que la variable *i* transforme el valor real en un número de calidad normalizado. Corresponde al subíndice del parámetro (se encuentra entre 0 y 100).

**W<sub>i</sub>** corresponde al peso o porcentaje asignado a cada parámetro *i*.

Ecuaciones del subíndice y ponderación según cada parámetro para el índice de la calidad del agua ICAUCA se muestra en la Tabla 18.

**Tabla 21** Ecuaciones del subíndice y ponderación según cada parámetro para el ICAUCA [51].

Parámetro	Ponderación (W)	Ecuación del subíndice
Demanda bioquímica de Oxígeno (DBO5)	0,15	$I_{DBO_5} = e^{(4,5824-0,1078 DBO_5 + 2,4581 \cdot 10^{-14} e^{DBO_5})}$ DBO <sub>5</sub> > 30 mg/L, I <sub>DBO5</sub> = 2
Porcentaje oxígeno disuelto (%Sat)	0,21	$I_{\%sat} = e^{(1,3663+0,063\%sat-0,000303\%sat^2)}$ Si %Sat >140, I%Sat=50
Turbiedad (Turb)	0,08	$I_{Turb} = e^{(4,561-0,0196 Turb + 2,4167 \cdot 10^{-5} Turb^2)}$ Si Turb > 100 UNT, I <sub>Turb</sub> = 5
Sólidos Totales (ST)	0,07	$I_{ST} = \frac{1}{0,0123 - 1,3545 \cdot 10^{-5} ST + 9,265 \cdot 10^{-8} ST^2}$ Si ST > 500 mg/L, I <sub>ST</sub> = 20
pH	0,08	$I_{pH} = e^{-7,6434pH+18,5352\frac{1}{pH}+14,625(\ln(pH))^2}$ Si pH<2 o pH>12 und I <sub>pH</sub> =0
Coliformes totales (CT)	0,15	$I_{CT} = e^{4,5685-0,1305 \ln(CT)-0,0129(\ln(CT))^2}$ Si CT > 10 <sup>5</sup> /100 ml, I <sub>CT</sub> =2
Nitrógeno total (NT)	0,08	$I_N = e^{(4,4706-0,043 NT+2,8813 \cdot 10^{-5} NT^2)}$ Si NT > 100 mg/L, I <sub>NT</sub> =1
Fósforo Total (PT)	0,08	$I_{PT} = \frac{1}{0,0084 + 0,0143 PT + 0,00074PT^2}$ Si PT > 10 mg/L, I <sub>PT</sub> = 2
Color	0,05	$I_{color} = 127 color^{-0,2394}$
Solidos suspendidos totales (SST)	0,05	$I_{SST} = -0,3005 SST + 102,11$ Si SST ≤ 10 mg/L, I <sub>SST</sub> =100 Si SST ≤ 340 mg/L, I <sub>SST</sub> =2

Los valores de las diferentes variables monitoreadas permiten establecer la clasificación de la calidad del agua según la Tabla 21

**Tabla 22** Clasificación de calidad de agua en función del índice ICAUCA [51].

Rango ICAUCA	Clasificación	Color
0 - 20	Pésima	
20 - 35	Inadecuada	
35 - 50	Aceptable	
50 - 80	Buena	
80 - 100	Optima	

### **3.1.5. Contaminantes emergentes (CE)**

Compuestos químicos distinto origen y naturaleza, cuya presencia en el ambiente no es considerada importante en términos de distribución y/o concentración, pasando inadvertidos durante décadas, actualmente se están detectando tanto el avance de las técnicas de detección como por la acumulación durante este tiempo hasta tenerse concentraciones detectables y efectos percibibles, efectos con un impacto ecológico y a la salud humana adversos [52].

Estos compuestos se pueden encontrar en aguas superficiales y aguas subterráneas de las cuales se hace la captación para consumo humano, estas pueden entrar a los cuerpos hídricos por el lavado de suelos por escorrentía o infiltración de los químicos aplicados en actividades agropecuarias (fertilizantes y plaguicidas), o por vertimientos de actividades pecuarias (medicamentos y patógenos), industriales (agentes tensoactivos, solventes, grasas y aceites, plastificantes, metales pesados y aditivos industriales), de saneamiento de plantas de tratamiento de aguas residuales y rellenos sanitarios (compuestos orgánicos e inorgánicos complejos), servicios salud hospitalarios (desinfectantes, antibióticos, analgésicos, antiherpentensivos, y hormonas esteroides), domésticas y tanques sépticos que presentan exfiltraciones que pueden contener entre (medicamentos antes mencionados, productos de cuidado personal, patógenos, grasas y aceites, detergentes, solventes, desinfectantes, drogas ilícitas, hormonas esteroides, cafeína, y nicotina) [52].

Estos compuestos pueden ser cancerígenos (inducen o aumentan la incidencia de cáncer), mutagénicos (aumentan la frecuencia de mutación en las células), teratogénico (sustancia que puede producir alteraciones en el feto durante su desarrollo) o actuar alterando el sistema endocrino de los organismos (alterar la homeostasis hormonal que es importante para mantener las funciones vitales de crecimiento, reproducción y comportamiento) [52].

Por otro lado, hay una alta prevalencia de virus en el ambiente y por ende un importante impacto en la salud pública e importantes pérdidas económicas principalmente a través de la transmisión de virus por agua y

alimentos por especies de Anenovirus, Poliovirus, Parchhavirus, Virus de Norwalk, Virus de Sapporo, Virus de la Hepatitis E, Rotavirus y Astrovirus [53].

En este sentido, se ha propuesto también la identificación de virus humanos como potenciales indicadores de contaminación, donde el virus de la hepatitis E presenta una elevada prevalencia en áreas geográficas que se consideraban libres de cepas endémicas (se presentan casos clínicos esporádicos y reservorios animales), se ha dado la detección de poliomavirus en prácticamente el 100% de las muestras de agua relacionados con casos de ingestión de virus y/o genomas virales con potencial oncogénico. No obstante, el control de la contaminación viral emergente en el ambiente requiere la estandarización de técnicas moleculares y desarrollo del sistema de vigilancia que permita valorar parámetros víricos [53].

### **3.2. Marco conceptual**

El actual índice de calidad de agua es objeto de discusión por el tipo de variables que mide, los rangos o valores máximos, y la ponderación del riesgo. Respecto a las variables que mide, se encuentra que debería ampliarse las variables microbiológicas y químicas a analizar, puesto que los casos de enfermedades asociadas al agua de tipo biológico son crecientes y la proliferación de una gran diversidad de sustancias químicas de origen inorgánico u orgánico desarrolladas y usadas en diferentes ámbitos, y que se desconoce sus efectos en la salud [54].

En relación con lo anterior, los CE corresponden, a contaminantes no regulados, que deben ser considerados en la regulación futura, la cual depende de investigaciones sobre los efectos potenciales a la salud, los ecosistemas y su incidencia. No obstante, para la mayoría de estos contaminantes emergentes, la incidencia, la contribución de riesgo y los datos eco-toxicológicos, no están disponibles. Y donde la acumulación CE en el ambiente, las tasas transformación y remoción de estos son superadas por la introducción continua hace necesario un seguimiento más específico para garantizar la calidad del agua [52].

En este sentido, el trabajo se alinea con las necesidades de considerar los CE como variables a considerar como parte del índice de calidad del agua, puesto que la acumulación y la reposición continua de los CE así como los riesgos ecológicos y a la salud humana ameritan su seguimiento, y con la consideración de aquellas sustancias que son probables para áreas rurales donde usualmente se realiza la captación de agua con fines de potabilización.

### 3.3. Marco legal

A continuación, se relaciona y explica la normatividad legal vigente que tienen aplicabilidad en el desarrollo del proyecto.

**Tabla 23** Marco normativo relacionado con el índice de riesgo a la calidad del agua

<b>Norma</b>	<b>Ámbito que regula</b>	<b>Aplicabilidad en el trabajo de grado</b>
Resolución 330 del 8 de junio de 2017	Adopta el Reglamento Técnico para el Sector Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS	Establece el IRCA como criterio para establecer los riesgos presentes y potenciales hacia el futuro de la microcuenca de abastecimiento
Resolución 4716 del 18 de noviembre de 2010	Establecer las condiciones, recursos y obligaciones mínimas que deben cumplir las autoridades sanitaria departamental, distrital y municipal categoría especial, 1,2, y 3 y ambiental competente para elaborar los Mapas de Riesgo de la calidad del agua para consumo humano	Frecuencias y número de muestras para vigilancia y control de las características físicas, químicas y microbiológicas del mapa de riesgo de la calidad del agua para consumo humano
Resolución 2115 del 22 de junio de 2007	Señala las características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano	Establece las características físicas, químicas y microbiológicas a hacer seguimiento del agua para consumo humano
Decreto 1575 del 9 de mayo de 2007	Establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano	Establece el IRCA como instrumento básico para garantizar la calidad del agua para consumo humano La selección de las sustancias potencialmente tóxicas se basará en la información de terceros responsables y afectados por la presencia de esos tóxicos en el agua y los contaminantes que se generan en las actividades productivas de la región y pueden estar presentes en la fuente que abastece el sistema de suministro

**Fuente:** Elaboración propia

## **4. CAPITULO: MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **4.1. Comparación de los índices de calidad del agua**

La comparación del IRCA respecto a distintos índices de calidad de agua y estándares de calidad a nivel internacional se realizó de forma cualitativa y cuantitativa mirando que parámetros son los que se analizan con mayor frecuencia con los indicadores de calidad de agua y comparando cuales son contemplados según los estándares internacionales permitiendo identificar la relevancia de los parámetros y las tendencias en calidad del agua.

##### **4.1.1. Comparación cualitativa**

Se comparará el IRCA respecto a los índices WQI<sub>NSF</sub>, Dinius, ICAUCA, DWQIUWQI, ISCA, IAP, IRCA, AMOEBA cotejando los parámetros, físicos, químicos, biológicos que tienen en cuenta mediante un análisis del número de parámetros por índice y la frecuencia de estos entre los distintos índices.

Así mismo, se cotejan los valores de referencia empleados para el cálculo IRCA respecto a los índices WQINSF, Dinius, ICAUCA, DWQIUWQI, ISCA, IAP, IRCA, AMOEBA por medio de valores máximos o rangos según parámetro

Así mismo, se compara el IRCA respecto a los estándares de calidad de agua descritos en los documentos Armonización de los estándares de agua potable en las Américas (Organización Mundial de la Salud - OMS, 2005) "Criterios de calidad del agua ambiental para la salud humana (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos - EPA 2015), Ley de suministro de agua (Japón, 2013) y la Directiva 2020/2184/CE Relativas a la calidad y métodos de medición, frecuencia de los muestreos y del análisis de las aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable (Comunidad Europea 2020)

##### **4.1.2. Comparación cuantitativa**

Según los parámetros comunes de los índices WQINSF, Dinius, ICAUCA, DWQI, UWQI, ISCA, IAP, y AMOEBA con el IRCA se toman sus valores de referencia (el valor de la variable estandarizada y su ponderación) y se calculan según su sistema y se comparan con los del IRCA

#### **4.2. Evaluación de las enfermedades vehiculizadas por el agua mediante el informe del Instituto Nacional Salud para ser considerados como parámetros del IRCA**

Teniendo en cuenta el Informe Nacional del Agua del 2022 se determinan los agentes etiológicos causantes de enfermedades relacionadas con enfermedades diarreicas agudas y se comparan respecto a los parámetros de IRCA

#### **4.3. Análisis de los posibles contaminantes emergentes según el listado del CAS para ser considerados como parámetros del IRCA**

Se reviso el listado CAS de compuestos químicos, polímeros, secuencias biológicas, preparados y aleaciones, y a su vez

## **5. CAPITULO: RESULTADOS Y ANÁLISIS**

## 5.1. Comparación de los índices de calidad del agua

Los distintos ICA hacen seguimiento a parámetros de tipo biológicos, físicos y químicos, dentro de estos últimos se podrían clasificar entre inorgánicos y orgánicos, y adicionalmente se podría clasificarse según su origen como plaguicidas o radiactivos entre otros.

### 5.1.1. Comparación cualitativa – Frecuencia y cantidad de parámetros biológicos analizados por los índices de calidad del agua

Respecto a los parámetros biológicos se encuentra que los Coliformes fecales son los que se emplean con mayor frecuencia y seguido de los coliformes totales. Los parámetros que se emplean con menor frecuencia son *Escherichia coli*, *Cryptosporidium*, *Giardia*, *Microcistina*, Tabla 23.

**Tabla 24** parámetros biológicos analizados por los índices de calidad

Parámetro	WQI NSF	Dinius	ICAUCA	DWQI	UWQI	ISCA	IAP	IRCA	AMOEBAs	f
Coliformes totales	0	1	0	0	1	0	0	1	0	3
Coliformes fecales	1	1	1	0	0	0	1	0	0	5
<i>Escherichia coli</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
<i>Cryptosporidium</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
<i>Giardia</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
<i>Microcistina</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
<b>Total</b>	1	2	1	0	1	0	1	4	1	

WQI NSF: water quality index the national sanitation foundation, Dinius: índice de Dinius, ICA Rojas: índice de Calidad de Agua de Rojas, ICAUCA índice de calidad para el río Cauca, DWQI: drinking water quality index, UWQI: universal water quality index, ISCA: índice de calidad de las aguas brutas para fines de abastecimiento público, IAP Índice simplificado de calidad del agua, IRCA: índice de riesgo de agua potable, AMOEBA: Method Of Ecological and Biological Assessment, y f: frecuencia. 1. Consideración de parámetro en el índice. 0. No consideración de parámetro en el índice.

Fuente: Propia

En este sentido, los coliformes es un grupo de especies bacterianas gramnegativas, con forma de bastón, no formadoras de esporas, que pueden fermentar la lactosa con producción de ácido y gas cuando se las incuban a 35–37 °C, y se emplean como indicadores de contaminación del agua y los alimentos; no obstante, no todos los coliformes son de origen fecal. Dado lo anterior, a este grupo pertenecen los coliformes fecales (aquellos de origen intestinal), definidos como como bacilos gram-negativos, no esporulados que fermentan la lactosa con producción de ácido y gas a 44.5 °C +/- 0.2 °C dentro de las 24 +/- 2 horas, y a este grupo pertenecen distintos géneros como *Escherichia*, *Citrobacter*, *Klebsiella* y *Enterobacter*. Y finalmente, *E. coli* es la especie más predominante de los coliformes fecales y asociado en un 99% de los casos de

contaminación fecal, y así mismo, dentro de las *E. coli* se encuentran las enteropatógenas, agentes causales de la enfermedad diarreica aguda (EDA) siendo esta desde una diarrea grave a sanguinolenta [55].

Por lo tanto, la prevalencia de los coliformes fecales como parámetro de seguimiento se da por ser más específico para determinar la contaminación del cuerpo del agua por materia fecal. Y la escogencia de *E. coli* sería más específica debida a su directa relación con la contaminación fecal y el desarrollo de EDA, no obstante la determinación de esta lleva ser más específica dentro de los procedimientos y por tanto en la complejidad en su determinación.

El IRCA realiza el seguimiento a coliformes totales y *E. coli*, de esta forma analiza de una forma general y especifica la posible contaminación del agua y en especial por materia fecal. El índice mas cercano en este análisis es el Dinius, que analiza coliformes totales y coliformes fecales, este analiza de forma general y de forma específica la contaminación del agua por origen fecal ya que abarca de forma específica otras bacterias asociadas a enfermedades gastrointestinales.

Finalmente, el IRCA considera dos parásitos *Giardia lamblia, intestinalis o duodenalis* (protozoo flagelado que reside en el intestino delgado de los mamíferos, es causante de diarreas y anorexia) [56] y *Cryptosporidium parvum, hominis, canis, felix, melagredis, muris* (protista causante de diarrea crónica y desnutrición) [57]; ambos parásitos son indicadores de contaminación del agua por heces fecales. La consideración de estos casos se da por la prevalencia de estas enfermedades

### **5.1.2. Comparación cualitativa - Frecuencia y cantidad de parámetros físicos analizados por los índices de calidad del agua**

Los parámetros físicos se asocian características organolépticas del agua, su presencia es indicativo de un agua no tratada o deficiente para el consumo humano.

En este sentido, la temperatura es uno de los parámetros menos usados ya que puede variar por vertimientos de aguas con una temperatura superior a la de ambiente, como también puede estar asociado a cambios de temperatura por la temporada (épocas cálidas o frías) o ser aguas de origen termal, razón por el cual es uno.

La turbiedad y el color son parámetros que se asocian al contenido de material en suspensión por la fuerza del agua y sustancias disueltas debido al ciclo hidrológico por procesos de arrastre y dilución. Adicionalmente, las sustancias disueltas conllevan a aumentar la conductividad. No obstante, dichos parámetros también se ven afectados por la contaminación incrementándose.

Los anteriores parámetros se relacionan con la característica organoléptica del agua de ser incolora y permitiendo que la luz puede atravesarla. De esta manera, los parámetros son analizados de acuerdo con los estándares del ICA para garantizar que el agua es tratada o reúne las características deseadas para el consumo humano. Dado lo anterior, el parámetro de turbiedad es el segundo a revisar y también debido a su facilidad de medición en campo, no obstante, el conjunto de parámetros de color, sólidos suspendidos, sólidos disueltos y conductividad acompañan la determinación de turbiedad para la mayoría de los ICA, Tabla 24.

El oxígeno disuelto es un indicador del estado de eutrofización de las aguas, donde aguas carentes en oxígeno están asociadas al crecimiento microbiano por los elevados contenidos de materia orgánica y fuentes de nitrógeno y fósforo que consumen el oxígeno en sus procesos metabólicos, y lenticas. Por el contrario, aguas con un porcentaje de oxígeno disuelto son indicador de aguas frescas, loticas, y con una baja contaminación que no da origen a grandes poblaciones microbianas. En este sentido, el oxígeno es el principal parámetro físico para revisar por los distintos ICAS. Tabla 24.

**Tabla 25** Parámetros físicos analizados por los índices de calidad

Parámetro	WQI NSF	Dinius	ICAUCA	DWQI	UWQI	ISCA	IAP	IRCA	AMOEBEA	f
Temperatura	1	1	0	0	0	0	1	0	1	4
Oxígeno disuelto	1	1	1	0	1	1	1	0	1	8
Turbiedad	1	0	1	0	0	0	1	1	1	6
Color	0	1	1	0	0	0	0	1	0	3
Sólidos suspendidos	0	0	1	0	0	1	1	0	0	3
Sólidos disueltos	1	0	1	0	0	0	1	0	0	4
Conductividad	0	1	0	0	0	1	1	0	1	4
<b>Total</b>	4	4	5	0	1	3	6	2	4	

WQI NSF: water quality index the national sanitation foundation, Dinius: índice de Dinius, ICA Rojas: índice de Calidad de Agua de Rojas, ICAUCA índice de calidad para el río Cauca, DWQI: drinking water quality index, UWQI: universal water quality index, ISCA: índice de calidad de las aguas brutas para fines de abastecimiento público, IAP Índice simplificado de calidad del agua, IRCA: índice de riesgo de agua potable, AMOEBA: Method Of Ecological and Biological Assessment, y f: frecuencia. 1. Consideración de parámetro en el índice. 0. No consideración de parámetro en el índice.

**Fuente:** Propia

### **5.1.3. Comparación cualitativa - Frecuencia y cantidad de parámetros químicos inorgánicos analizados por los índices de calidad del agua**

Los índices que contemplan mayor cantidad de parámetros químicos inorgánicos a hacer seguimiento son DWQI, IRCA, AMOEBA y IAP con 18, 17, 16 y 14 parámetros respectivamente. Los índices que comprenden menos parámetros en su análisis son ISCA, INCAUCA,  $WQI_{NSF}$ , Dinius con 0,3, 3 y 5 parámetros respectivamente, Tabla 25.

El parámetro con mayor frecuencia de análisis por los indicadores es el pH (Tabla 25), ya que las aguas demasiado ácidas disuelven los metales pesados (plomo, cobre, zinc) que al ser ingeridos afectan negativamente la salud, Además, valores extremos pH causan irritación en las mucosas y órganos internos, y hasta procesos de ulceración [58].

Adicionalmente, el nitrato es el segundo parámetro más analizado (Tabla 25) ya que el nitrito ( $NO_2^-$ ) generalmente se convierte a nitrato fácilmente ( $NO_3^-$ ), lo que significa que el nitrito raramente está presente en el agua. En este sentido, el nitrato es esencial para el crecimiento vegetal, siendo usado como fertilizante y producido industrialmente en grandes cantidades. Lo anterior, lleva a dos formas de contaminación del agua por compuestos nitrogenados, la contaminación puntual debido al sector pecuario, industrial, o urbano (efluentes orgánicos de actividades ganaderas, vertidos industriales, de aguas residuales urbanas), mientras que la contaminación dispersa o difusa solo es debida la actividad agronómica [59].

Así mismo, se encuentra el parámetro de fosforo total dentro de aquellos mayormente analizados (Tabla 25), esto es debido a que el ion fosfato ( $PO_4^-$ ) se forma a partir del fósforo inorgánico como parte del ciclo de este elemento en el ambiente y es considerado un macronutriente vegetal, los cuerpos de agua próximos a suelos agrícolas presentan distintas cantidades de fosfatos aportados por los escorrentía e infiltración del agua lluvia o de riego [59].

También, se encuentran los parámetros de Arsénico, Cadmio, Cromo, Mercurio, Plomo, Zinc y Cobre entre los metales pesados más analizados (Tabla 25), ya que estos son tóxicos en concentraciones bajas y

afectando la salud humana de forma crónica por procesos de bioacumulación. La contaminación de los cuerpos hídricos se da por vertimientos de las actividades mineras, industriales y urbanas [60].

Adicionalmente, se tienen como parte de los parámetros mas analizados los relacionados con el flúor (Tabla 25), este es un halógeno muy reactivo que forma compuestos inorgánicos y orgánicos llamados fluoruros, tiene efectos adversos en la salud (reproducción, y genera osteosarcoma, hipotiroidismo y neurotoxicidad) cuando se ingiere por vía oral. No obstante, la entrada de este químico con el agua se da por la fluoración del agua de abastecimiento público [61].

Finalmente, entre los parámetros con mayor frecuencia de análisis están los cloruros (Tabla 25), estos se encuentran encontrar en el agua como sales de calcio o magnesio y un alto contenido de cloruros puede causar corrosión en las tuberías metálicas y estructuras, [58].

**Tabla 26** Parámetros químicos inorgánicos analizados por los índices de calidad,

Parámetro	WQI NSF	Dinius	ICAUCA	DWQI	UWQI	ISCA	IAP	IRCA	AMOEBa	f
pH	1	1	1	1	1	0	1	1	1	8
Grasas y Aceites	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Nitrógeno total	0	0	1	0	0	0	1	0	1	3
Amoniaco	0	0	0	1	0	0	0	0	1	2
Nitritos	0	0	0	1	0	0	0	1	1	3
Nitratos	1	1	0	1	1	0	1	1	1	7
Fosforo total	0	0	1	0	1	0	1	0	1	4
Fosfatos	1	0	0	0	0	0	0	1	0	2
Sulfatos	0	0	0	1	0	0	0	1	0	2
Cloro	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
Cloruros	0	1	0	1	0	0	0	1	0	3
Fluoruro	0	0	0	1	1	0	0	1	0	3
Cianida-	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Cianuro	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
Calcio	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
Alcalinidad	0	1	0	0	0	0	0	1	0	2
Dureza	0	1	0	0	0	0	0	1	0	2
Arsénico	0	0	0	1	1	0	0	0	1	3
Cadmio	0	0	0	1	1	0	1	0	1	4
Cromo	0	0	0	1	0	0	1	0	1	3
Mercurio	0	0	0	1	1	0	1	0	1	4
Molibdeno	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
Níquel	0	0	0	0	0	0	1	0	1	2
Plomo	0	0	0	1	0	0	1	0	1	3
Zinc Zn	0	0	0	1	0	0	1	1	0	3
Boro	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
Aluminio	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
Cobre	0	0	0	1	0	0	1	0	1	3
Hierro	0	0	0	1	0	0	1	1	0	3
Aluminio	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
Manganeso	0	0	0	1	0	0	1	1	0	3
Magnesio	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1

Sodio	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
Selenio	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
<b>Total</b>	3	5	3	18	9	0	14	17	16	

WQI NSF: water quality index the national sanitation foundation, Dinius: índice de Dinius, ICA Rojas: índice de Calidad de Agua de Rojas, ICAUCA índice de calidad para el río Cauca, DWQI: drinking water quality index, UWQI: universal water quality index, ISCA: índice de qualidade das águas brutas para fins de abastecimento público, IAP Índice simplificado de calidad del agua, IRCA: índice de riesgo de agua potable, AMOEBA: Method Of Ecological and Biological Assessment, y f: frecuencia. 1. Consideración de parámetro en el índice. 0. No consideración de parámetro en el índice.

Fuente: Propia

#### 5.1.4. Comparación cualitativa - Frecuencia y cantidad de parámetros químicos orgánicos analizados por los índices de calidad del agua

El principal parámetro de los químicos orgánicos analizado es la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) (Tabla 26) y que permite comprobar si hay materia orgánica que puede ser degradada microbiológicamente. La cual obedece a que el COT es el parámetro más directo para evaluar la carga orgánica (carbono), aunque no puede estimar el consumo de oxígeno directamente. Y que la demanda química de oxígeno (DQO) determina el consumo de oxígeno en la digestión de la materia orgánica, no obstante, los nitritos, sulfitos y el ion ferroso que también reaccionan con los reactivos (dicromato) y serán registrados como consumo de oxígeno por materia orgánica [62].

Adicionalmente, otros parámetros asociados a sustancias orgánicas y que son contaminantes del agua como hidrocarburos poli aromáticos (HPA), trihalometanos (THM), bifenilos policlorados (por sus siglas en inglés, PCBs), y fenoles se les hace seguimiento en una baja frecuencia a pesar de su importancia ambiental y de salud pública, Tabla 26.

**Tabla 27** Parámetros químicos orgánicos analizados por los índices de calidad

Parámetro	WQI NSF	Dinius	ICAUCA	DWQI	UWQI	ISCA	IAP	IRCA	AMOEBA	f
COT	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2
DQO	0	0	0	0	0	1	0	0	1	2
DBO	1	1	1	0	1	0	1	0	1	7
HPA	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
THM	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
PCBs	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Fenol	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Total	1	1	1	0	1	2	2	1	5	

WQI NSF: water quality index the national sanitation foundation, Dinius: índice de Dinius, ICA Rojas: índice de Calidad de Agua de Rojas, ICAUCA índice de calidad para el río Cauca, DWQI: drinking water quality index, UWQI: universal water quality index, ISCA: índice de qualidade das águas brutas para fins de abastecimento público, IAP Índice simplificado de calidad del agua, IRCA: índice de riesgo de agua potable, AMOEBA: Method Of Ecological and Biological Assessment, y f: frecuencia. 1. Consideración de parámetro en el índice. 0. No consideración de parámetro en el índice.

Fuente: Propia

### 5.1.5. Comparación cualitativa - Frecuencia y cantidad de parámetros asociados a plaguicidas analizados por los índices de calidad del agua

El seguimiento de plaguicidas es poco tenido en cuenta como parámetro y solo se da por los índices del IRCA y AMOEBA a pesar de su importancia para la salud pública. No obstante, el tema de los plaguicidas para el IRCA es evaluado como el con junto de dichas sustancias, Tabla 27.

**Tabla 28** Parámetros asociados a plaguicidas analizados por los índices de calidad

Parámetro	WQI <sub>NSF</sub>	Dinius	ICAUCA	DWQI	UWQI	ISCA	IAP	IRCA	AMOEBA	f
Plaguicidas	0	0	0	0	0	0	0	1*	1	1
Pesticidas organofosforados	0	0	0	0	0	0	0	1*	1	1
Total	0	0	0	0	0	0	0	0	2	

WQI NSF: water quality index the national sanitation foundation, Dinius: índice de Dinius, ICA Rojas: índice de Calidad de Agua de Rojas, ICAUCA índice de calidad para el río Cauca, DWQI: drinking water quality index, UWQI: universal water quality index, ISCA: índice de qualidade das águas brutas para fins de abastecimento público, IAP Índice simplificado de calidad del agua, IRCA: índice de riesgo de agua potable, AMOEBA: Method Of Ecological and Biological Assessment, y f: frecuencia, 1. Consideración de parámetro en el índice. 0. No consideración de parámetro en el índice.

Fuente: Propia

### 5.1.6. Comparación cualitativa – Valores de referencia de los parámetros empleados el índice de calidad del agua (IRCA) y los estándares internacionales

A continuación, se presenta el análisis comparativo de los valores de los parámetros microbiológicos, físicos, químicos de naturaleza orgánica e inorgánica, plaguicidas y sustancias radioactivas indicados por la OMS, Europa, EPA-EEUU y Japón respecto al IRCA

#### 5.1.6.1. Límites admisibles para parámetros microbiológicos

Se observa que para la mayoría de los estándares (IRCA, OMS, Europa, y EPA-EEUU) se toma como parámetro de máxima exigencia a *E. coli* para la verificación de contaminación por materia fecal. No obstante, la mayoría de estándares y a excepción de Japón, contemplan dos indicadores para ampliar el espectro del análisis de riesgo a bacterias que puedan causar enfermedades diarreicas, en este caso se presentan análisis de *E.coli* y coliformes fecales o *E.coli* y Coliformes totales, Tabla 28.

Solo la EPA – EEUU propone como parámetros de seguimiento sanitario y epidemiológico a *Cryptosporidium* y *Giardia* puesto que están asociadas enfermedades parasitarias y transmitidas por la contaminación del agua y materia fecal (Tabla 28), adicionalmente son estándares para el control de protozoos de importancia media por sus brotes y donde Colombia tiene una prevalencia del 10,6% [63].

El IRCA no contempla la determinación de *Clostridium* como parámetro de calidad del agua a pesar de que los estándares de la EPA si lo contempla (Tabla 28). No obstante, *Clostridium perfringens* se encuentra normalmente en suelos y aguas residuales y hace parte de la microflora intestinal humana y de animales, por tal razón es un parámetro que señala si hay contaminación fecal del agua, aborda la presencia de microorganismos patógenos cuya determinación es costosa y difícil, y muestra la eficiencia de los procesos de filtración y desinfección del agua. Este microorganismo es el agente causal de enfermedades humanas como la gastroenteritis de origen alimentario y a la gangrena gaseosa. Y a partir de los criterios de calidad propuestos por la EPA en la actualización de 2015, se han adelantado estudios para estandarizar los procedimientos para su determinación y que cumplan con la Norma ISO 14189:2013 y los consignados en la Guía Técnica Colombiana, GTC 84 de 2003. [64]

Adicionalmente, el IRCA no considera la determinación de *Legionella* como parámetro de calidad del agua a pesar de que los estándares de la EPA si lo tienen en cuenta (Tabla 28). No obstante, *Legionella pneumophila* se relaciona con brotes relacionados con sistemas hídricos artificiales deficientemente mantenidos (torres de enfriamiento o condensadores de evaporación utilizados para sistemas de acondicionamiento de aire y refrigeración industrial, sistemas de agua fría y caliente en edificios públicos y privados, y de recreación). *L. pneumophila* es el agente causal de un tipo de neumonía denominada la enfermedad del legionario [65].

Además, el IRCA no tiene entre los parámetros de seguimiento las Microcistinas como parámetro de calidad del agua a pesar de que los estándares de la OMS y de Europa si lo contemplan (Tabla 28). Las Microcistinas son toxinas producidas por diferentes especies de algas azul verdosas (cianobacterias de los géneros *Microcystis*, *Anabaena*, *Oscillatoria*, y *Nostoc*) que crecen de forma anormal en aguas superficiales

originando intoxicaciones tanto en animales como en humanos [66]. No obstante, la prevalencia de microcistinas no han sido reportadas por los informes epidemiológicos del Instituto Nacional de Salud.

Finalmente, el IRCA no tiene entre los parámetros de seguimiento las Microcistinas como parámetro de calidad del agua a pesar de que los estándares de la EPA si lo tienen en cuenta (Tabla 28). Los colifagos somáticos es un indicador de la contaminación del agua cruda por heces humanas o animales o por agua residuales y la deficiencia de los sistemas de desinfección de agua tratada. Los colifagos somáticos se relacionan con el aumento de la incidencia de diarreas no bacterianas [67].

**Tabla 29** valores de referencia para parámetros microbiológicos

Parámetro	Unidad	IRCA	OMS	EUROPA	EPA - EEUU	Japón
		Índice de riesgo de agua potable	Armonización de los estándares de agua potable en las Américas 2005	Directiva 2020/2184/C E 2020	Criterios de calidad del agua ambiental para la salud humana: 2015	Ley de suministro de agua 2013
Coliformes totales	UFC/100mL	0	ne	0	<5% muestras + /mes	0
Coliformes fecales	UFC/100mL	ne	1	ne	1	ne
Enterococos intestinales	UFC/100mL	ne	ne	0	ne	ne
<i>Escherichia coli</i>	UFC/100mL	0	0	0	1	ne
<i>Legionella</i>	UFC/100mL	ne	ne	ne	1	ne
<i>Clostridium perfringens</i>	UFC/100mL	ne	ne	ne	1	ne
<i>Cryptosporidium</i>	Ooquistes	0	ne	ne	99% de eliminación	ne
<i>Giardia</i>	Quistes	0	ne	ne	99% de eliminación	ne
Microcistina	ug/L	ne	1	1	ne	ne
Colifagos somáticos		ne	ne	ne	1	ne

Ne: No especificado

Fuente: Propia

### 5.1.6.2. Límites admisibles para parámetros físicos

Respecto a los estándares físicos se encuentra que la turbiedad el IRCA el parámetro es menos exigente en 1 NTU respecto a los estándares de la EPA y Japón, el Color esta de acuerdo a la EPA pero existen normatividades como la de Japón que exigen 10 unidades platino cobalto menos, los solidos disueltos totales no tienen un valor especificado en el IRCA no obstante los estándares de la EPA y Japón exigen hasta 500 mg/L, la conductividad para el IRCA es más restrictivo con un valor de 1000 uS/cm que el estándar europeos que tiene un valor de 2500 uS/cm, y las determinaciones de olor y sabor para el IRCA se basan en

la apreciación de aceptable respecto al valor de 3 unidades de umbral de olor y 3 unidades de intensidad de olor que indica la EPA, Tabla 29.

En este sentido el IRCA hace la determinación de los sólidos disueltos totales a partir de la conductividad y donde este parámetro es más restrictivo que los estándares nacionales. No obstante, los parámetros de turbiedad y color pueden ser más restrictivos asumiendo los valores de los estándares de la EPA y Japón.

**Tabla 30** Valores de referencia para parámetros físicos

Parámetro	Unidad	IRCA	OMS	EUROPA	EPA	Japón
		Índice de riesgo de agua potable	Armonización de los estándares de agua potable en las Américas 2005	Directiva 2020/2184/C E 2020	Criterios de calidad del agua ambiental para la salud humana: 2015	Ley de suministro de agua 2013
Turbiedad	NTU	2	ne	ne	< 1 NTU medición diarias <0,3NTU el 95% medición diaria del mes	1
Color	UPC	15	ne	ne	15	5
Sólidos disueltos totales	mg/L	ne	ne	ne	500	500
Conductividad	uS/cm	1000	ne	2500	ne	ne
Olor	TON	aceptable	ne	ne	3	3
Sabor	TIO	aceptable	ne	ne	3	ne

TON: número umbral de olor (por su significado en inglés, Threshold Odor Number)

TIO: intensidad total de olor (por su significado en inglés, Total Intensity of Odor)

Fuente: Propia

### 5.1.6.3. Límites admisibles para parámetros químicos inorgánicos

Para el IRCA el límite inferior de pH (pH=6,5) se alinea a los valores de los estándares europeos y de la EPA. No obstante, el límite superior del pH (pH=9) es menos restrictivo que el estándar de la EPA (pH=8,5) pero se ajusta a los valores europeos (pH=9,5), Tabla 30.

Según los valores admisibles del IRCA, los parámetros de detergentes, bromato, plata, berilio, boro, clorato aluminio, talio y sodio no son considerados a pesar de que existen vales máximos admisibles según los estándares de internacionales. Así mismo los parámetros de cianuro, fluoruro, mercurio, níquel, zinc, antimonio, hierro y manganeso deben revisar el límite admisible puesto que los estándares internacionales proponen valores más restrictivos, Tabla 30.

Según el IRCA, el estándar para cloro residual libre presenta un valor mayor (Cloro residual libre=5mg/L) que los estándares internacionales (Cloro residual libre= 1 – 4 mg/L), sin embargo dicho valor no es perjudicial para la salud y ayuda a garantizar la desinfección del agua tratada durante la conducción, Tabla 30.

**Tabla 31** Valores de referencia para parámetros químicos inorgánicos

Parámetro	Unidad	IRCA	OMS	EUROPA	EPA	Japón
		Índice de riesgo de agua potable	Armonización de los estándares de agua potable en las Américas 2005	Directiva 2020/2184/CE 2020	Criterios de calidad del agua ambiental para la salud humana: 2015	Ley de suministro de agua 2013
pH		6,5-9	ne	6,5 - 9,5	6,5 - 8,5	Aprox7,5
Detergentes	mg/L	ne	ne	ne	0,5	0,2
Amoniaco	mg/L	ne	1,5	0,5	ne	ne
Nitritos	mg/L	0,1	3	0,5	ne	ne
Nitratos	mg/L	10	50	50	10	10
Fosfatos	mg/L	0,5	ne	ne	ne	ne
Sulfatos	mg/L	250	ne	250	250	ne
Cloro residual libre	mg/L	ne	5	ne	4	1
Cloruros	mg/L	250	ne	250	250	250
Fluoruro	mg/L	1	1,5	1,5	4	0,8
Bromato	mg/L	ne	0,01	0,01	0,01	ne
Cianuro	mg/L	0,05	ne	0,05	0,2	0,01
Calcio	mg/L	60	ne	ne	ne	10-100
Alcalinidad	mg/L	200	ne	ne	ne	ne
Dureza	mg/L	300	ne	ne	ne	300
Arsénico	mg/L	0,01	0,01	0,01	0,05	0,01
Cadmio	mg/L	0,003	0,003	0,005	0,005	0,01
Cromo	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,1	0,05
Mercurio	mg/L	0,001	0,006	0,001	0,002	0,0005
Magnesio	mg/L	36	ne	ne	ne	10-100
Molibdeno	mg/L	0,07	ne	ne	ne	0,07
Níquel	mg/L	0,02	0,07	0,02	ne	0,01
Plata	mg/L	ne	ne	ne	0,01	ne
Plomo	mg/L	0,01	0,01	0,01	ne	ne
Zinc	mg/L	3	ne	ne	5	1
Antimonio	mg/L	0,02	0,02	0,05	0,006	0,02
Bario	mg/L	0,7	1,3	ne	2	ne
Berilio	mg/L	ne	ne	ne	0,004	ne
Boro	mg/L	ne	2,4	1	1	1
Aluminio	mg/L	0,2	ne	ne	ne	ne
Clorato	mg/L	ne	0,7	ne	ne	ne
Cobre	mg/L	1	2	2	1,3	1
Hierro	mg/L	0,3	ne	0,2	0,3	0,3
Aluminio	mg/L	ne	0,2	0,2	0,05-0,2	0,1
Manganeso	mg/L	0,1	0,1	ne	0,05	0,05
Talio	mg/L	ne	ne	ne	0,002	ne
Sodio	mg/L	ne	ne	200	ne	200
Selenio	mg/L	0,01	0,04	0,01	0,05	0,01

Fuente: Propia

#### 5.1.6.4. Límites admisibles para parámetros químicos orgánicos

Para el IRCA se destaca la bondad de tener como parámetro de seguimiento de la materia orgánica COT a pesar de que los estándares internacionales no lo sugieren (Tabla 31). No obstante, debería ser acompañado de la determinación de la DQO o DBO, preferiblemente este último para ver la relación del Oxígeno disuelto, carga microbiana y materia orgánica.

Se hace necesario revisar el valor aceptable de THM en el IRCA (THM = 0,2mg/l), ya que los estándares internacionales tienen valores más restrictivos (THM= 0,08 a 0,1mg/L)

Se encuentran veinte y nueve (29) compuestos orgánicos a los cuales los estándares internacionales ya han reportado límites admisibles. No obstante, el IRCA no ha fijado un valor máximo admisible para cada uno de ellos. No obstante, el IRCA indica que se debe asumir un valor máximo aceptable de 0,0001 mg/L [41] para las siguientes características químicas: i) sustancias químicas reconocidas por el Ministerio de la Protección Social como cancerígenas, mutagénicas y teratogénicas, ii) sustancias químicas cuyo valor DL50 oral mínimo reconocido sea menor o igual a 20 mg/Kg, iii) sustancias catalogadas como extremadamente o altamente peligrosas del Ministerio de la Protección Social, iv) sustancias químicas de origen natural o sintético sobre las que se considere necesario aplicar normas de precaución, en el sentido de que a pesar de no poseer suficiente información científica, Tabla 31.

**Tabla 32** Valores de referencia para parámetros químicos orgánicos

Parámetro	Unidad	IRCA	OMS	EUROPA	EPA	Japón
		Índice de riesgo de agua potable	Armonización de los estándares de agua potable en las Américas 2005	Directiva 2020/2184/CE 2020	Criterios de calidad del agua ambiental para la salud humana: 2015	Ley de suministro de agua 2013
COT	mg/L	5	ne	ne	ne	ne
HAP	mg/L	0,01	ne	ne	ne	ne
THM	mg/L	0,2	ne	0,1	0,08	0,1
PCBs	mg/L	0,0001*	ne	ne	0,0005	ne
Dioxinas	mg/L	0,0001*	ne	ne	0,00000003	1
AHA	mg/L	0,0001*	ne	ne	0,06	ne
Fenol	mg/L	0,0001*	ne	ne	ne	0,005
Benceno	mg/L	0,0001*	0,01	0,001	0,005	0,01
Bromoformo	mg/L	0,0001*	0,1	ne	ne	0,09
Diclorobenceno	mg/L	0,0001*	1	ne	0,075	0,3
Triclorobenceno	mg/L	0,0001*	ne	ne	0,07	ne
Benzo (a) pireno	mg/L	0,0001*	0,0007	0,00001	0,0002	ne
dibromoclorometano	mg/L	0,0001*	0,1	ne	ne	0,1
bromodichlorometano	mg/L	0,0001*	0,02	ne	ne	0,03

diclorometano	mg/L	0,0001*	0,02	ne	0,005	0,02
cloroformo	mg/L	0,0001*	0,3	ne	ne	0,06
dicloroacetoniitrilo	mg/L	0,0001*	0,02	ne	ne	0,01
1,2 dicloroetano	mg/L	0,0001*	0,03	0,003	0,005	0,004
Formaldehido	mg/L	0,0001*	ne	ne	ne	0,08
Tetracloruro de carbono	mg/L	0,0001*	0,004	ne	0,005	0,002
Tetracloroetano	mg/L	0,0001*	0,04	0,01	0,005	0,01
Tricloroetano	mg/L	0,0001*	0,02	0,01	0,005	0,3
Tolueno	mg/L	0,0001*	0,7	ne	1	0,4
Xileno	mg/L	0,0001*	0,5	ne	10	0,4
Cloruro de vinilo	mg/L	0,0001*	0,0003	0,0005	0,002	ne
Etilbencina	mg/L	0,0001*	0,3	ne	0,7	ne
Estireno	mg/L	0,0001*	0,02	ne	0,1	ne
monoclorobenceno	mg/L	0,0001*	ne	ne	0,1	ne
Epiclorhidrina	mg/L	0,0001*	0,0004	0,0001	ne	ne
hexaclorobutadieno	mg/L	0,0001*	0,0006	ne	ne	ne
Ácido etilen diamino tetra acético	mg/L	0,0001*	0,6	ne	ne	ne
Acrilamida	mg/L	0,0001*	0,0005	0,0001	ne	ne

\*Valores asumidos según el ARTÍCULO 8 de la Resolución 2115 de 2007

Fuente: Propia

### 5.1.6.5. Límites admisibles para parámetros químicos radioactivos

El IRCA no asume valores de seguimiento para sustancias radioactivas a pesar de que los estándares así lo indican, Tabla 32. Sin embargo, a estos parámetros no se veía la necesidad de establecer valores admisibles puesto que las actividades realizadas en el territorio colombiano no implican la generación de dichos contaminantes.

**Tabla 33** Valores de referencia para parámetros químicos radioactivos

Parámetro	Unidad	IRCA	OMS	EUROPA	EPA	Japón
		Índice de riesgo de agua potable	Armonización de los estándares de agua potable en las Américas 2005	Directiva 2020/2184/CE 2020	Criterios de calidad del agua ambiental para la salud humana: 2015	Ley de suministro de agua 2013
Uranio	mg/L	ne	0,03	ne	0,03	0,002
Partículas alfa	Bq/L	ne	0,1	ne	0,555	ne
Partículas beta	Bq/L	ne	1	ne	1,48	ne
Radio 226 y Radio 228	Bq/L	ne	ne	ne	0,185	ne
Tritio ( <sup>3</sup> H)	Bq/L	ne	ne	100	ne	ne

Fuente: Propia

### 5.1.6.6. Límites admisibles para parámetros asociados a plaguicidas

Se encuentran cincuenta y ocho (58) plaguicidas a los cuales los estándares internacionales ya han reportado límites admisibles. No obstante, el IRCA no ha fijado un valor máximo admisible para cada uno

de ellos. Sin embargo, el IRCA indica que la suma total de las concentraciones de plaguicidas y demás sustancias, cuyo valor individual máximo admisible sea de 0,0001 mg/L podrá ser de 0,001 mg/L como máximo, sin que en ningún caso se excedan los valores individuales [41], Tabla 33.

Dado lo anterior, se hace necesario revisar este estándar general y asumir de forma individual un valor admisible por cada plaguicida. Adicionalmente, los plaguicidas de Aldrin, Clordano, Cianazina, 1,2 - dibromo - 3 - cloropropano, Endrin, 1,2-Dibromoetano, Dibromuro de etileno, Peptacloro, Epoxido de heptacloro, Lindano requieren que se revise el limite admisible aceptable puesto que están por encima de los valores de los estándares internacionales, Tabla 33.

**Tabla 34** Valores de referencia para parámetros asociados a plaguicidas

Parámetro	Unidad	IRCA	OMS	EUROPA	EPA	Japón
		Índice de riesgo de agua potable	Armonización de los estándares de agua potable en las Américas 2005	Directiva 2020/2184/CE 2020	Criterios de calidad del agua ambiental para la salud humana: 2015	Ley de suministro de agua 2013
Plaguicidas	mg/L	0,0001*	ne	0,0005	ne	ne
Alaclor	mg/L	0,001**	0,02	ne	0,002	ne
Aldicarb	mg/L	0,001**	0,01	ne	ne	ne
Aldrin	mg/L	0,001**	0,00003	0,00003	ne	ne
Dildrin	mg/L	0,001**	ne	ne	ne	ne
Atrazina	mg/L	0,001**	0,1	ne	0,003	ne
Bentazona	mg/L	0,001**	ne	ne	ne	0,2
Carbofurano	mg/L	0,001**	0,007	ne	0,04	0,005
Clordano	mg/L	0,001**	0,0002	ne	0,002	ne
Clorotalonil	mg/L	0,001**	ne	ne	ne	0,05
Clorotoluron	mg/L	0,001**	0,03	ne	ne	ne
Cianazina	mg/L	0,001**	0,0006	ne	ne	ne
Dalapón	mg/L	0,001**	ne	ne	0,2	ne
Ddt	mg/L	0,001**	0,001	ne	ne	ne
Diazinon	mg/L	0,001**	ne	ne	ne	0,005
1,2 - dibromo - 3 - cloropropano	mg/L	0,001**	0,001	ne	0,0002	
Ácido 2,4-diclorofenoxiacético	mg/L	0,001**	0,03	ne	0,07	0,03
1,2 - dicloropropano	mg/L	0,001**	0,04	ne	0,005	0,06
1,3 dicloropropano	mg/L	0,001**	ne	ne	ne	
1,3 - dicloropropeno	mg/L	0,001**	0,02	ne	ne	0,002
Diclorvos	mg/L	0,001**	0,02	ne	ne	0,008
Dinoceb	mg/L	0,001**		ne	0,007	ne
Diquat	mg/L	0,001**	0,03	ne	0,02	ne
Alquitran endo	mg/L	0,001**	ne	ne	0,1	ne
Endrin	mg/L	0,001**	0,0006	ne	0,002	ne
1,2-dibromoetano, dibromuro de etileno	mg/L	0,001**	0,0004	ne	0,00005	ne
Fenitrotión	mg/L	0,001**	ne	ne	ne	0,003
Glifosato	mg/L	0,001**	ne	ne	0,7	ne
Peptacloro	mg/L	0,001**	ne	0,00003	0,0004	ne
Epoxido de heptacloro	mg/L	0,001**	ne	0,00003	0,0002	ne
Hexaclorobenceno	mg/L	0,001**	ne	ne	0,001	ne
Isoproturon	mg/L	0,001**	0,009	ne	ne	ne
Lindano	mg/L	0,001**	0,002	ne	0,0002	ne
Molinar	mg/L	0,001**	ne	ne	ne	ne
Oxamil	mg/L	0,001**	ne	ne	0,2	ne
Pentaclorofenol	mg/L	0,001**	0,009	ne	0,001	ne
Permetrina	mg/L	0,001**	ne	ne	ne	ne
Picloram	mg/L	0,001**	ne	ne	0,5	ne
Propanilo	mg/L	0,001**	ne	ne	ne	ne
Piridato	mg/L	0,001**	ne	ne	ne	ne
Simazina	mg/L	0,001**	0,002	ne	0,004	0,003
Terbutilazina	mg/L	0,001**	0,007	ne	ne	ne
Toxafeno	mg/L	0,001**	ne	ne	0,003	ne
Trifluralina	mg/L	0,001**	0,02	ne	ne	ne
2,4-db	mg/L	0,001**	0,09	ne	ne	ne
Dicloroprop	mg/L	0,001**	ne	ne	ne	ne
Fenoprop	mg/L	0,001**	0,009	ne	0,05	ne
Mcpb	mg/L	0,001**	ne	ne	ne	ne
2,4,5-t	mg/L	0,001**	0,009	ne	ne	ne
Tiuram	mg/L	0,001**	ne	ne	ne	0,006
Tiobencarb	mg/L	0,001**	ne	ne	ne	0,02
Isoxatión	mg/L	0,001**	ne	ne	ne	0,008
Isoprotiolano	mg/L	0,001**	ne	ne	ne	0,04
Propizamida	mg/L	0,001**	ne	ne	ne	0,05

Fenobucarb	mg/L	0,001**	ne	ne	ne	0,03
Clornitrofen	mg/L	0,001**	ne	ne	ne	0,005
Iprobenfos	mg/L	0,001**	ne	ne	ne	0,008
Epn	mg/L	0,001**	ne	ne	ne	0,006
Triclopir	mg/L	0,001**	ne	ne	ne	0,006
Pesticidas organofosforados	mg/L	0,0001*	ne	0,0001	ne	ne

\* Valores asumidos según el Parágrafo 1, Artículo 8 de la Resolución 2115 de 2007

\*\* Valores asumidos según el Parágrafo 1, Artículo 8 de la Resolución 2115 de 2007

Fuente: Propia

### 5.1.7. Comparación cuantitativa – Valores de referencia e índices de calidad del agua

Teniendo en cuenta los valores de referencia comunes para los límites admisibles de calidad de aguas descritos para el IRCA, se presentan a continuación el cálculo de los demás índices ( $WQI_{NSF}$ , Dinius, ICAUCA, DWQI, UWQI, ISCA, IAP, y AMOEBA) teniendo en cuenta sus métodos de cálculo y asumiendo valores que para el IRCA se tienen como no admisibles.

#### 5.1.7.1. Comparación cuantitativa – IRCA vs $WQI_{NSF}$

Los dos índices tienen en común los parámetros de turbiedad, pH, fosfatos, nitratos y coliformes totales. El índice  $WQI_{NSF}$  arroja un valor numérico del índice similar al del IRCA, tienen en común que los parámetros de mayor relevancia en su orden son coliformes totales y turbiedad, Tabla 35. No obstante, hay que considerar que en la comparación no se emplea los parámetros de porcentaje de saturación de oxígeno disuelto y de DBO del índice  $WQI_{NSF}$ , parámetros que según su peso aportan el 17% y 11% del análisis a la calidad del agua. A su vez, no se considera *E. coli* y el cloro residual libre del índice IRCA que según su peso aporta el 25% y 15% respectivamente del análisis a la calidad del agua.

**Tabla 35** Comparativo de los índices de calidad del agua IRCA vs  $WQI_{NSF}$  para sus parámetros comunes

Parámetro	Valor máximo	Unidades	Valor de prueba	Puntaje IRCA	Qvalor (Qi)	Ponderación (Wi)	Qi*Wi
Turbiedad	2	UNT	3	15	91,9	0,08	7,4
pH	6,5 -9	H3O <sup>+</sup>	6,4	1,5	46,3	0,077	3,6
Fosfatos	0,5	mg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> /L	0,6	1	56,1	0,1	5,6
Nitratos	10	mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /L	11	1	49,2	0,09	4,4
Coliformes totales	0	UFC /100 cm <sup>3</sup>	1	15	137,6	0,09	12,4
<b>Valor del Índice IRCA</b>				<b>33,5</b>	<b>Valor del Índice <math>WQI_{NSF}</math></b>		<b>33,3</b>
Nivel de riesgo medio					Mala		

Fuente: Propia

### 5.1.7.2. Comparación cuantitativa – IRCA vs Dinius

Los dos índices tienen en común los parámetros de color aparente, pH, alcalinidad total, dureza total, cloruros, nitratos y coliformes totales. El índice Dinius presenta un valor numérico distinto al del IRCA, donde el índice presenta su clasificación de calidad de forma creciente, donde valores bajos se asocian a mala calidad del agua y valores altos a buena calidad del agua. Por otro lado, el IRCA presenta su clasificación de calidad de forma de creciente, donde valores bajos se asocian a buena calidad del agua y valores altos a mala calidad del agua, Tabla 36.

No obstante, si se considera que la clasificación del índice de Dinius se hace sobre una base de 100 puntos, se puede realizar la resta a los 100 puntos el valor de Dinius dando un valor de 95,8, indicando que para los parámetros calculados son escasos dentro de un modelo aditivo y por tal razón la clasificación del agua está baja si se consideran solo los parámetros entre ambos indicadores.

Ambos índices tienen en común que los parámetros de mayor relevancia a coliformes totales, seguido pH y alcalinidad total y nitratos en su orden. No obstante, hay que considerar que en la comparación no se emplea los parámetros de coliformes fecales, OD y DQO del índice de Dinius, parámetros que según su peso aportan el 11,6%, 10,9% y 9,7% del análisis a la calidad del agua. A su vez, no se considera *E. coli* y el cloro residual libre del índice IRCA que según su peso aporta el 25% y 15% respectivamente del análisis a la calidad del agua.

**Tabla 36** Comparativo de los índices de calidad del agua IRCA vs Dinius para sus parámetros comunes

Parámetro	Valor máximo	Unidades	Valor de prueba	Puntaje IRCA	Qvalor (Ii)	Ponderacion (Wi)	Ii^Wi
Color aparente	15	UPC	16	6	54,3	0,063	1,3
pH	6,5	H3O <sup>+</sup>	6,4	1,5	2,2	0,077	1,1
Alcalinidad total	200	mg CaCO <sub>3</sub> / L	201	1	35,8	0,077	1,3
Dureza total	300	mg CaCO <sub>3</sub> / L	301	1	39,4	0,063	1,3
Cloruros	250	mg Cl <sup>-</sup> / L	251	1	28,2	0,065	1,2
Nitratos	10	mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> / L	11	1	3,6	0,074	1,1
Coliformes totales	0	UFC/100 cm <sup>3</sup>	1	15	27,3	0,090	1,3

<b>Valor del Índice IRCA</b>	26,5	<b>Valor del Índice Dinius</b>	4,2
Nivel de riesgo medio		Muy Mala	

Fuente: Propia

### 5.1.7.3. Comparación cuantitativa – IRCA vs DWQI

Para comparar esta determinación se asumió los parámetros más relevantes del IRCA (Color aparente, Turbiedad, Cloro residual libre, Coliformes totales, y *E. coli*) para una (1) determinación de doce (12) muestras de calidad del agua, ya que el índice DWQI considera los parámetros de cada normatividad propia al sitio donde se hacen las determinaciones, verificando el porcentaje de variables que tienen valores fuera los límites admisibles (alcance), la relación entre los valores de los datos del índice fuera de los rangos respecto al número de determinaciones (frecuencia), y que tan alejadas están las determinaciones de cada parámetro (deficiencia de calidad del agua) respecto a los estándares (amplitud).

En este sentido los valores del índice DWQI es cercano al del IRCA puesto que para ambos utiliza el mismo estándar (Decreto 2115 de 2007), y el índice arroja valores distintos por la frecuencia en que las determinaciones con mala calidad (niveles de riesgo bajo, medio, alto e inviable sanitariamente) se presentan en las determinaciones en un periodo de tiempo y que tan distintas las determinaciones de los valores del estándar, Tabla 37.

**Tabla 37** Comparativo de los índices de calidad del agua IRCA vs DWQI

Parámetro	Valor máximo	Unidades	Valor de prueba	Aporte al IRCA (%)	Rango de exceso	Suma normalizada de excesos	Amplitud	Alcance	Frecuencia
Color aparente	15	UPC	16	6	0,1	0,85	45,84	22,73	8,33
Turbiedad	2	NTU	3	15	0,5				
Cloro residual libre	2	mg/L Cl <sub>2</sub>	2,1	15	0,1				
Coliformes totales	0	UFC/100 cm <sup>3</sup>	1	15	9,0				
<i>E. coli</i>	0	UFC/100 cm <sup>3</sup>	1	25	9,0				
<b>Valor del Índice IRCA</b>				76,0	<b>Valor del Índice DWQI</b>				70,1
Nivel de riesgo alto					Regular				

Fuente: Propia

#### 5.1.7.4. Comparación cuantitativa – IRCA vs ISQA

Dado que los parámetros que evalúa ISQA son temperatura, DQO, sólidos suspendidos totales, oxígeno disuelto y conductividad no se puede realizar la comparación entre los dos índices ya que el IRCA no considera estos parámetros según el Decreto 2115 de 2007.

#### 5.1.7.5. Comparación cuantitativa – IRCA vs IAP

Los dos índices tienen en común los parámetros de color aparente, turbiedad, manganeso, zinc, e hierro total. El índice IAP presenta un valor numérico distinto al del IRCA, donde el índice presenta su clasificación de calidad de forma creciente, donde valores bajos se asocian a mala calidad del agua y valores altos a buena calidad del agua. Por otro lado, el IRCA presenta su clasificación de calidad de forma decreciente, donde valores bajos se asocian a buena calidad del agua y valores altos a mala calidad del agua, Tabla 38.

En este sentido, los valores entre los dos índices son distintos ya que la gran mayoría de los parámetros que considera el índice IAP para sacar los indicadores tanto de sustancias tóxicas (ST) y sustancias orgánicas (SO) no son considerados por el IRCA siendo estos trihalometanos, cadmio, cromo, plomo, níquel, mercurio, clorocromato de piridino, para el primer indicador y cobre, para el segundo indicador. Así mismo, tampoco se consideran dentro de la comparación los parámetros temperatura, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, coliformes termotolerantes, nitrógeno total, fósforo total, sólidos el indicador IQA – CETESB, indicador que pertenece al índice del IAP, tabla 38.

**Tabla 38** Comparativo de los índices de calidad del agua IRCA vs IAP

Parámetro	Valor máximo	Unidades	Valor de prueba	Aporte al IRCA (%)	Calidad (qi)	Ponderación (wi)	IQA CETESB	Sustancias Tóxicas (ST)	Sustancias Organolépticas (SO)	ISTO (ST*SO)
Color aparente	15	UPC	16	6	80	0,08	8,52			
Turbiedad	2	NTU	3	15	50	0,12				
Manganeso	1	mg Mn/L	0,2	1,0				0,53	0,81	0,43
Zinc	1	mg Zn/L	5,5	1,0						
Hierro total	1,5	mg Fe/L	0,4	1,5						

Valor del Índice IRCA	24,5	Valor del Índice IAP (ISTOXIQA CETESB)	3,64
Nivel de riesgo medio		Pésimo	

Fuente: Propia

### 5.1.7.6. Comparación cuantitativa – IRCA vs AMOEBA (Índice de contaminación por nutrientes (NPI Nutrient pollution index))

Ya que el proyecto AMOEBA comprende varios índices para sacar una representación de la calidad respecto a diferentes aspectos, el índice que se puede emplear es el del índice de contaminación por nutrientes, ya que tienen en común la turbiedad, pH, fosfatos, nitratos y nitritos. En este caso, el índice AMOEBA-NPI supera el valor deseable con estos parámetros, Tabla 39. No obstante, no se considera amonio, nitrógeno total, fósforo total, clorofila a, y conductividad, y al calcularse sobre la totalidad de los parámetros el indicador da un resultado pequeño.

**Tabla 39** Comparativo de los índices de calidad del agua IRCA vs AMOEBA

Parámetro	Valor máximo	Unidades	Valor de prueba	Aporte al IRCA (%)	Calidad (qi)	Ponderación (wi)	Ln qi^wi
Turbiedad	2	UNT	3	15	99,2	0,2	0,92
pH	6,5 -9	H3O+	6,4	1,5	94,4	0,2	0,91
Fosfatos	0,5	mg PO43- /L	0,6	1	100,1	0,2	0,92
Nitratos	10	mg NO3-}/L	11	1	72,9	0,2	0,86
Nitritos	0,1	mg NO3-/L	0,2	3	99,5	0,2	0,92
<b>Valor del Índice IRCA</b>				21,5	<b>Valor del Índice AMOEBA -NPI</b>		92,6
Nivel de riesgo medio							92,6/70

Fuente: Propia

### 5.1.7.7. Comparación cuantitativa – IRCA vs UWQI

Los dos índices tienen en común los parámetros de color aparente, pH, Nitratos, y Coliformes totales. El índice UWQI presenta un valor numérico distinto al del IRCA, donde el índice presenta su clasificación de calidad de forma creciente, donde valores bajos se asocian a mala calidad del agua y valores altos a buena calidad del agua. Por otro lado, el IRCA presenta su clasificación de calidad de forma de creciente, donde valores bajos se asocian a buena calidad del agua y valores altos a mala calidad del agua, Tabla 36.

Adicionalmente, el índice UWQI contempla otros parámetros que el IRCA no asume como cadmio, cianuro, mercurio, selenio, arsénico, fluoruro, nitrógeno, OD, pH, DBO, y fósforo total, y al calcularse sobre la totalidad de los parámetros el indicador da un resultado pequeño.

**Tabla 40** Comparativo de los índices de calidad del agua IRCA vs UWQI

Parámetro	Valor máximo	Unidades	Valor de prueba	Aporte al IRCA (%)	Qvalor (Li)	Ponderación (Wi)	Qi*Li
pH	6,5 -9	H3O+	6,4	1,5	46,3	0,029	3,6
Nitratos	10	mg NO3-/L	11	1	63,6	0,086	4,4
Coliformes totales	0	UFC /100 cm3	1	15	137,6	0,114	12,4
<b>Valor del índice IRCA</b>				17,5	<b>Valor del índice UWQI</b>		20,4
Nivel de riesgo medio					Pobre		

Fuente: Propia

### 5.1.7.8. Comparación cuantitativa – IRCA vs ICAUCA

Los dos índices tienen en común los parámetros de color aparente, pH, y Coliformes totales. El índice ICAUCA presenta un valor numérico distinto al del IRCA, donde el índice presenta su clasificación de calidad de forma creciente, donde valores bajos se asocian a mala calidad del agua y valores altos a buena calidad del agua. Por otro lado, el IRCA presenta su clasificación de calidad de forma de creciente, donde valores bajos se asocian a buena calidad del agua y valores altos a mala calidad del agua, Tabla 41.

Adicionalmente, el índice ICAUCA contempla otros parámetros que el IRCA no asume como DBO, turbiedad, %OD, sólidos totales, pH, coliformes totales, nitrógeno total, fósforo total y sólidos suspendidos totales, y al calcularse sobre la totalidad de los parámetros el indicador da un resultado pequeño.

**Tabla 41** Comparativo de los índices de calidad del agua IRCA vs ICAUCA

Parámetro	Unidades	Valor de prueba	Valor máximo	Aporte al IRCA (%)	Qvalor (li)	Ponderación (Wi)	li^Wi
Color aparente	UPC	16	15	6	65,4	0,05	1,2
pH	H3O+	6,4	6,5	1,5	574570061	0,08	5,0
Coliformes totales	UFC/100 cm3	1	0	15	96,4	0,15	2,0
<b>Valor del índice IRCA</b>				22,5	<b>Valor del índice ICAUCA</b>		12,3
Nivel de riesgo medio					Pésima		

Fuente: Propia

### 5.2. • Evaluación de las enfermedades vehiculizadas por el agua respecto al IRCA

De acuerdo con el Informe Nacional de Calidad del Agua para Consumo Humano de 2022 (INCA) se realizan estimaciones de casos de EDA por consumo de agua dietaría a partir de los datos del SIVICAP

aplicando modelos probabilísticos para Coliformes totales, *E coli*, *Giardia spp* y *Cryptosporidium*.y Hepatitis A, tabla 42

**Tabla 42** Comparativo entre los parámetros microbiológicos analizados por el IRCA vs las determinaciones de los agentes causales de enfermedades diarreicas agudas INCA (2022)

Agente etiológico	Estadística	Parámetros del IRCA
Coliformes totales	28,6% de los valores (60 de 210 resultados) [68]	Si
<i>E. coli</i>	28,6% de los valores (22 de 210 resultados) [68]	Si
<i>Giardia spp</i>	28,6% de los valores (10 de 210 resultados) [68]	Si*
<i>Cryptosporidium</i>	7% de los valores (60 de 210 resultados) [68]	Si*
Hepatitis A.	12,7% de los Municipios reportan infecciones [68]	No

\* No se realizan en todos los análisis de calidad de aguas

Fuente: Propia

### 5.3.• Análisis los posibles contaminantes emergentes según el listado del CAS para ser considerados como parámetros del IRCA

De los 1.079.191 números CAS para compuestos químicos, polímeros, preparados y aleaciones [69], no se encuentra ninguna dentro de los parámetros de seguimiento del IRCA de forma directa, algunas de ellas se ha determinado su riesgo, otras está en estudio su peligrosidad y otras se desconoce su riesgo.

Según el registro nacional de plaguicidas se encuentran 3507 productos comerciales distintos para plaguicidas y 71 productos reguladores fisiológicos [70], de los cuales ninguno se encuentra contemplado por el IRCA.

# **CAPITULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## 6.1. Conclusiones

Los parámetros más comunes dentro del análisis de agua comprenden parámetros microbiológicos como coliformes fecales, considerándose un parámetro que debería comprender el IRCA ya que la determinación sería más específica a evaluar microorganismos asociados a la contaminación del agua con materia fecal, y que por el contrario los coliformes totales abarcan una serie de microorganismos no relacionados con enfermedades diarreicas agudas.

También se encuentran los parámetros físicos más frecuentes la temperatura, turbiedad, oxígeno disuelto, sólidos disueltos y conductividad. No obstante, no se considera pertinente la temperatura por la dificultad que cambie un cuerpo de agua su temperatura. Los sólidos disueltos por poderse medir por medio de la conductividad tampoco se consideran relevantes. Adicionalmente, es importante incluir el OD para evaluar el grado de eutrofización de las aguas debido a la actividad microbiana que degrada la materia orgánica, y complementaria a los parámetros microbiológicos y la DBO

Los parámetros químicos de tipo inorgánico más predominantes son el pH, nitratos y fósforo total, donde los dos primeros los considera el IRCA y el último engloba todas las especies fósforo. Dado lo anterior, y conociendo que el fosfato se forma a partir del fósforo inorgánico y que es la especie la especie más abundante se debe mantener y es un indicador de contaminación por agroinsumos.

Adicionalmente, dentro de los parámetros químicos inorgánicos más analizados se están el Arsénico, Cadmio, Cromo, Mercurio, Plomo, Zinc y Cobre, y que deben ser considerados en el análisis de la contaminación del agua con metales pesados

Por otro lado, los parámetros de cianuro, fluoruro, mercurio, níquel, zinc, antimonio, hierro y manganeso deben revisarse si el límite admisible puede ser más restrictivo ya que los estándares internacionales así lo proponen

Dentro de los parámetros químicos orgánicos mayormente analizados esta la DBO, la cual se considera que debe ser incluida ya que permite comprobar si hay materia orgánica que puede ser degradada microbiológicamente, adicionalmente es complementaria a los parámetros microbiológicos y el OD

Finalmente, los estándares internacionales reportan veinte y nueve (29) compuestos orgánicos respecto a las sustancias orgánicas asociadas a plaguicidas con límites admisibles y que deben ser considerados en el análisis de agua.

Además, se hace necesario revisar los límites admisibles de los plaguicidas de Aldrin, Clordano, Cianazina, 1,2 - dibromo - 3 - cloropropano, Endrin, 1,2-Dibromoetano, Dibromuro de etileno, Peptacloro, Epóxido de heptacloro, Lindano puesto que los estándares internacionales fijan valores más estrictos que los establecidos para plaguicidas por el IRCA

Los informes de calidad de agua e epidemiológicos muestran que los parámetros comúnmente analizados en agua son Coliformes totales, *E.coli*, *Giardia spp* y *Cryptosporidium*. No obstante, los estándares internacionales empiezan a analizar colifagos somáticos, ya que se encuentran muchas EDAs producidos por virus. Así mismo, de acuerdo con la incidencia de la Hepatitis A se considera como parámetro de calidad del agua. Por tanto, se considera que tanto colifagos y hepatitis A deberían considerarse por el IRCA.

## **6.2. Recomendaciones**

Los parámetros fisicoquímicos a analizar por el IRCA deben ser vistos desde un enfoque del ordenamiento territorial, donde conociendo las actividades aguas arriba de los sitios de captación deben seleccionarse los parámetros de calidad del agua, los cuales comprenden los que comprende el IRCA, aquellos que se describen como sugeridos a considerarse por hacer más robusto el análisis respecto a la articulación entre parámetros y las tendencias sanitarias respecto a nuevos contaminantes que emergen de tipo químico y biológico.

Adicionalmente, también deben ser considerados aquellos subproductos del metabolismo de medicinas de origen veterinario y humano, sustancias que ya son reportadas por estudios científicos mas no aun por los estándares internacionales.

## **CAPITULO 9: REFERENCIAS**

## 9. Referencias

- [1] Suárez, S., y Molina, E. (2014). El desarrollo industrial y su impacto en el medio ambiente. *Revista cubana de higiene y epidemiología*, 52(3), 357-363.
- [2] Arias, J. (2017). Contaminación de suelos y aguas por hidrocarburos en Colombia. Análisis de la fitorremediación como estrategia biotecnológica de recuperación. *Revista de investigación Agraria y Ambiental*, 8(1), 151-167.
- [3] Ahmed, M., Matsumoto, M., Ozaki, A., Thinh, N. V. y Kurosawa, K. (2019). Heavy metal contamination of irrigation water, soil, and vegetables and the difference between dry and wet seasons near a multi-industry zone. *Water*, 11(3), 1-12. <https://doi.org/10.3390/w11030583>
- [4] Manoj, S., Thirumurugan, M. y Elango, L. (2017). An integrated approach for assessment of groundwater quality in and around uranium mineralized zone, Gogi region, Karnataka, India. *Arabian Journal of Geosciences*, 10(24), 557. <https://doi.org/10.1007/s12517-017-3321-5>
- [5] Jawad, M., Arslan, M., Siddique, M., Ali, S., Tahseen, R. y Afzal, M. (2019). Potentialities of floating wetlands for the treatment of polluted water of river Ravi, Pakistan. *Ecological Engineering*, 133, 167-176. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.04.022>
- [6] Bhuiyan, A., Dampare, B., Islam, A. y Suzuki, S. (2015). Source apportionment and pollution evaluation of heavy metals in water and sediments of Buriganga River, Bangladesh, using multivariate analysis and pollution evaluation indices. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187(4075), 1-21. <https://doi.org/10.1007/s10661-014-4075-0>.
- [7] Zhang, J., Li, H., Zhou, Y., Dou, L. y Cai, L. (2018). Bioavailability and soil-to-crop transfer of heavy metals in farmland soils: A case study in the Pearl River Delta, South China. *Environmental Pollution*, 235, 710-719. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.12.106>.
- [8] Sabogal, L. (2000). El riesgo sanitario y la eficiencia de los sistemas de tratamiento en la selección de tecnologías para la potabilización del agua, Cali: Universidad del Valle.

- [9] Rojas, R. (2002). Guía para la vigilancia y control de la calidad del agua para consumo humano.
- [10] Cepis, "Sección 2. Evaluación y manejo del Riesgo," Manual de Evaluación y Manejo de Sustancias Tóxicas en Aguas Superficiales, p. 46, 2001.
- [11]. Guerra, C. (1993) Ponderación de los Riesgos de origen Microbiano y Químico en la Desinfección del Agua Potable: La Perspectiva Panamericana," Boletín de Oficina Sanitaria Panamericana, vol. 115, pp. 451-454.
- [12] WHO. (1997) "Conquering suffering Enriching humanity.," The World Health Report 1997, p. 157: WHO Graphics.
- [13] IDEAM, 2001. El Medio Ambiente en Colombia, Bogotá,
- [14] Fernández, N. y Solano, F. (2008). Índices de Calidad y Contaminación del Agua, Pamplona: Universidad de Pamplona.
- [15] González, T., Osorio, I., y Riascos, A. (2019). Evaluación del proceso de reporte del IRCA a las plataformas SUI y SIVICAP web desde el marco del inca en los años 2016-2019, caso de estudio-magdalena, zona bananera. Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería.
- [16] Ministerio de Salud y Protección Social. Informe Nacional de Calidad del Agua para Consumo Humano. (2021). Consultado en <https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/informe-nacional-de-calidad-del-agua-para-consumo-humano-inca-2021.pdf>
- [17] Instituto Nacional de Salud. (2019). Estado de la Vigilancia de la Calidad del Agua para Consumo Humano en Colombia. consultado en <https://www.ins.gov.co/BibliotecaDigital/estado-de-la-vigilancia-de-la-calidad-del-agua-para-consumo-humano-en-colombia-2019.pdf>
- [18] Carrasco, D., Delgado, Y., y Cobos, F. (2017). Contaminantes emergentes y su impacto en la salud. Emerging contaminants and its impact on the health. Revista de la Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad de Cuenca, 35(2), 55-59.

- [19] González, T., Osorio, I., y Riascos, A. (2019). Evaluación del proceso de reporte del IRCA a las plataformas SUI y SIVICAP web desde el marco del inca en los años 2016-2019, caso de estudio-magdalena, zona bananera. Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería.
- [20] García, C., García, J., Rodríguez, J., Pacheco, R., y García, M. (2018). Limitaciones del IRCA como estimador de calidad del agua para consumo humano. *Revista de Salud Pública*, 20, 204-207.
- [21] Cruz, A., y Rodríguez, L. (2021). Análisis de los índices de riesgo de calidad de agua potable (IRCA) en Boyacá entre 2016-2019. *Agricolae y Habitat*, 4(1).
- [22] Romero, J., y Ibarra, N. (2013). Valoración del Índice de Calidad del Agua Cruda (ICA), del Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano (IRCA), del Índice de Tratamiento (IT), del Índice de Continuidad (IC) y del Índice de Riesgo Municipal por Abastecimiento de Agua para Consumo Humano por Prestador (Irabapp), para el periodo 2010-2011, de sistemas de tratamiento de agua potable. *Revista De La Escuela Colombiana De Ingeniería*, 23(92), 13-22.
- [23] Briñez, K., Guarnizo, C., y Arias, A. (2012). Calidad del agua para consumo humano en el departamento del Tolima. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 30(2), 175-182.
- [24] Enríquez, C., Torres, A., y Enciso, F. (2020). Comportamiento del índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano y demanda de agua en el acueducto Yamboró, Pitalito - Huila. *Revista de Investigaciones Agroempresariales*, 7.
- [25] Torres, M., y de Navia, L. (2010). Calidad físico-química y microbiológica del agua del municipio de Bojacá, Cundinamarca. *Nova*, 8(14).
- [26] Candelario, M., y Pinto, L. (2023). Evaluación del agua para consumo humano utilizando el índice de riesgo de la calidad del agua en el municipio de Puerto Nariño (Amazonas). *Agricolae y Habitat*, 6(2), 27-40.

- [27] González, L. (2020). Evaluación del índice de riesgo de calidad de agua (IRCA) para la mejora de las condiciones de calidad del sistema de potabilización del acueducto de la vereda Quiche del municipio de Chiquinquirá–Boyacá.
- [28] Doncel, J., y Florex, C. (2018). QIRCA: Complemento de QGIS para Calcular Índices de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano-IRCA.
- [29] Torres, F., y Carvajal, A. (2014). Cobertura de acueducto y alcantarillado, calidad del agua y mortalidad infantil en Colombia, 2000-2012 (No. 012228). Universidad de los Andes “Facultad de Economía” CEDE.
- [30] Jiménez, L., Ramos, J., y Guio, P. (2016). Análisis del índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano-Irca-y su relación con variables meteorológicas y ubicación Geográfica para el departamento del Tolima en los años 2012–2013. *Publicaciones e Investigación*, 10, 69-81.
- [31] Jiménez, C. (2011). Contaminantes orgánicos emergentes en el ambiente: productos farmacéuticos. *Revista lasallista de investigación*, 8(2), 143-153.
- [32] Jank, L., Hoff, R., Costa, F, Pizzolato, T. Simultaneous determination of eight antibiotics from distinct classes in surface and wastewater samples by solid-phase extraction and highperformance liquid chromatography electrospray ionisation mass spectrometry. *Int J Environ An Ch* 2014; 94(10), 1013–1037.
- [33] Spongberg, A., Witter, J., Acuña, J., Vargas, J., Murillo, M., Umaña, G., et al. Reconnaissance of selected PPCP compounds in Costa Rica surface waters. *Water Res* 2011; 45(20):6709-17
- [34] Estrada, E., Cortés, J., González, A., Calderón, C., de Rivera, M., Ramírez, E., et al. Assessment of full-scale biological nutrient removal systems upgraded with physico-chemical processes for the removal of emerging pollutants present in wastewaters from Mexico. *Sci Total Environ* 2016; 571:1172-82
- [35] Bujanow, D., Pérez, V., Gavilán, J., y Luis, J. (2018). Estudio sobre la presencia y distribución de contaminantes emergentes en los acuíferos detríticos del río Guadalhorce. In *Unidos por el agua: Huelva*, 24 a 27 de octubre de 2018 (pp. 701-708). Club del Agua Subterránea.

- [36] Vadillo, I., Jiménez, P., Aranda, J., Denguir, F., Luque, J., y Benavente, J. (2018). Presencia y distribución de contaminantes emergentes en cuatro cuencas antropizadas del sur de la Península Ibérica.
- [37] Meléndez, J., García, Y., Galván, V., de León, L. D., Vargas, K., Mejía, J., y Ramírez, R. F. (2020). Contaminantes emergentes. Problemática ambiental asociada al uso de antibióticos. Nuevas técnicas de detección, remediación y perspectivas de legislación en América Latina. *Revista de Salud Ambiental*, 20(1), 53-61.
- [38] Martínez, I., Soto, J., y Lahora, A. (2020). Antibióticos como contaminantes emergentes. Riesgo ecotoxicológico y control en aguas residuales y depuradas. *Ecosistemas*, 29(3), 2070-2070.
- [39] Ramírez, L., Chicaiza, S., Ramos, A., y Álvarez, C. (2019). Detección de antibióticos betalactámicos, tetraciclinas y sulfamidas como contaminantes emergentes en los ríos San Pedro y Pita del cantón Rumiñahui. *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida*, 30(2), 88-102
- [40] Taborda, D., Venegas, W. (2016). Trabajo de grado: Elaboración del mapa de riesgos de calidad del agua para consumo humano de la quebrada la hoya en el municipio de Zipaquirá Cundinamarca.
- [41] Ministerio de salud y Protección social. 2023. Programa nacional de prevención, manejo y control de la infección respiratoria aguda y la enfermedad diarreica aguda. Consultado en <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/ET/programa-nacional-ir-eda-2023.pdf>
- [42] Universidad de Pamplona. (sf). Capítulo II. Indicadores de calidad del agua. Generalidades. Universidad de Pamplona. Consultado en [https://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portalIG/home\\_10/recursos/general/pag\\_contenido/libros/06082010/icatest\\_capitulo2.pdf](https://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portalIG/home_10/recursos/general/pag_contenido/libros/06082010/icatest_capitulo2.pdf)
- [43] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2007.
- [44] Sutadian, A., Muttill, N., Yilmaz, A., y Perera, J. (2016). Development of river water quality indices—a review. *Environmental monitoring and assessment*, 188, 1-29.

- [45] Ardila, N., y Arriola, E. (2017). Efecto de la quema de llantas en la calidad del agua de un tramo de la quebrada Piedras Blancas. *Tecnología y ciencias del agua*, 8(5), 39-55.
- [46] Balmaseda, C., y García, Y. (2014). Índice canadiense de calidad de las aguas para la cuenca del río Naranjo, provincia Las Tunas, Cuba. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(3), 11-16.
- [47]. de Bustamante, J. Sanz., J. Goy; Estudio de la calidad de las aguas superficiales en los espacios naturales del sur de las provincias de Salamanca y Ávila. *Aplicaciones del Índice ISQA*, 2002, <https://sge.usal.es/archivos/geogacetetas/Geo31/Art26.pdf>
- [48]. CETESB. (2021) Apéndice E Índices de Qualidade das Águas, Critérios de Avaliação da Qualidade dos Sedimentos e Indicador de Controle de Fontes 2021. Consultado en <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2022/11/Apendice-E-Indices-de-Qualidade-das-Aguas.pdf>
- [49]. Fernandez, S. (2005). Índices de calidad (ICAs) y de contaminación (ICOs) del agua de importancia mundial. Capítulo III. Universidad de Pamplona. ICAS Final (Capítulo III)
- [50]. Boyacioglu H., Development of a water quality index based on a European classification scheme., *Water SA*, Vol. 33, No. 1, Ene., 2007, pp. 101-106.
- [51]: Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, Dirección Técnica Ambiental. (2023) Objetivos de calidad del río Cauca – tramo valle del Cauca. Documento técnico de soporte. Consultado en <https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/2023-06/Res.%200298%20de%202023%20-%20Objetivos%20de%20calidad%20del%20r%C3%ADo%20Cuaca%20-%20Tramo%20Valle%20del%20Cauca.pdf>
- [52] Pachés, A. (2020). Contaminantes emergentes. Universidad Politécnica de Valencia
- [53] Bofill, S., Clemente, P., Albiñana, N., Maluquer, C., Hundesa, A., y Girones, R. (2005). Efectos sobre la salud de la contaminación de agua y alimentos por virus emergentes humanos. *Revista española de salud pública*, 79, 253-269.

- [54] Becerril, J. (2012). Optimización de metodologías analíticas para la determinación de contaminantes emergentes en aguas de abastecimiento y residuales.
- [55] Gómez, O. (2014). Enfermedad diarreica aguda por *Escherichia coli* enteropatógenas en Colombia. *Revista chilena de infectología*, 31(5), 577-586.
- [56] Chaves, D., Fernández, J., Ospina, I., López, M., Moncada, L., y Reyes, P. (2007). Tendencia de la prevalencia y factores asociados a la infección por *Giardia duodenalis* en escolares y preescolares de una zona rural de Cundinamarca. *Biomédica*, 27(3), 345-351.
- [57] Ekici, A., Yilmaz, H., y Beyhan, Y. E. (2022). Prevalencia de la criptosporidiosis en seres humanos y terneros, y detección molecular del *Cryptosporidium parvum*. *Revista MVZ Córdoba*, 27(2), 1-9.
- [58] Pérez, E. (2016). Control de calidad en aguas para consumo humano en la región occidental de Costa Rica. *Revista Tecnología en marcha*, 29(3), 3-14.
- [59] Bolaños, J., Cordero, G., y Segura, G. (2017). Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica). *Revista Tecnología en Marcha*, 30(4), 15-27.
- [60] Pabón, S., Benítez, R., Sarria, R., y Gallo, J. (2020). Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 14(27), 9-18.
- [61] Jiménez, A., Santa, L., Otazua, M., Ayerdi, M., Galarza, A., Gallastegi, M., . y Ibarluzea, J. (2018). Ingesta de flúor a través del consumo de agua de abastecimiento público en la cohorte INMA-Gipuzkoa. *Gaceta Sanitaria*, 32(5), 418-424.
- [62] Menéndez, C., y Dueñas, J. (2018). Los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales desde una visión no convencional. *Ingeniería hidráulica y ambiental*, 39(3), 97-107.
- [63] Instituto Nacional de Salud. (2019). Informe técnico de vigilancia por laboratorio de *Cryptosporidium* spp. y *Giardia* spp. en aguas. <https://www.ins.gov.co/buscador-eventos/Informacin%20de%20laboratorio>

/Informe-t%C3%A9cnico-de-vigilancia-por-laboratorio-de-Cryptosporidium-spp-y-Giardia-spp-en-aguas.pdf

[64] López, L., Sánchez, M., Baena, M., González, M., y Urhán, J. (2016). Verificación del método para la detección y cuantificación de *Colstridium perfringens* en agua potable mediante filtración por membrana. *Revista Politécnica*, 12(23), 83-89.

[65] Ramírez, L., y Londoño, A. (2020). Estado del arte de la legionella pneumophila en aguas termales. *Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería.*

[66] Avendaño, A., y Arguedas, C. (2006). Microcistina en plantas de tratamiento de agua para consumo humano en un ambiente tropical: el Área Metropolitana de Costa Rica. *Revista de biología tropical*, 54(3), 711-716.

[67] Jiménez, L., Barquero, M., Jiménez, K., Álvarez, C. V., Alavarado, D. M., Lizano, L. R., y Achí, R. (2015). Relación entre la presencia de colifagos en agua para consumo humano, las lluvias y las diarreas agudas en Costa Rica. *Revista Costarricense de Salud Pública*, 24(2), 160-167.

[68] Ministerio de Salud y Protección Social. (2022). Informe Nacional de Calidad del Agua para Consumo Humano INCA 2022. Consultado en <https://www.ins.gov.co/BibliotecaDigital/informe-nacional-de-calidad-del-agua-para-consumo-humano-colombia-2022.pdf>

[69] Números CAS (2024). Consultado en <https://cymitquimica.com/es/cas/#:~:text=El%20n%C3%BAmero%20de%20registro%20CAS,han%20en%20contrado%201079191%20n%C3%BAmeros%20CAS.>

[70] ICA. (2024). Registros Nacionales de Plaguicidas y reguladores fisiológicos. Consultado [https://www.ica.gov.co/areas/agricola/servicios/agricultura-ecologica-1/documentos/publicacion-bd\\_rn-rf\\_-31-mar-2022-1.aspx](https://www.ica.gov.co/areas/agricola/servicios/agricultura-ecologica-1/documentos/publicacion-bd_rn-rf_-31-mar-2022-1.aspx)