

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LAS PLANTAS DE
POTABILIZACIÓN URBANO-RURALES DE LOS MUNICIPIOS DE PÁRAMO Y
PINCHOTE EN LA CUENCA DEL RÍO FONCE

JEISSON FABIAN RODRÍGUEZ BARRERA
LIDA CRISTINA FONTECHA ANGULO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

BUCARAMANGA

2011

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LAS PLANTAS DE
POTABILIZACIÓN URBANO-RURALES DE LOS MUNICIPIOS DE PÁRAMO Y
PINCHOTE EN LA CUENCA DEL RÍO FONCE

JEISSON FABIAN RODRÍGUEZ BARRERA
LIDA CRISTNA FONTECHA ANGULO

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar el título de Ingeniero
Químico.

Director

Luis Javier López Giraldo

Ingeniero Químico Ph.D.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA

2011

DEDICATORIA

A Dios, quien me dio la fé, la fortaleza, la salud y la esperanza para terminar este trabajo.

A mis padres y mi hermano por el apoyo incondicional durante toda mi vida, por estar a mi lado en los momentos difíciles, a ellos por todo lo que me han brindado y enseñado.

A Andrea, por ser mi motivación, por ser el motor que me mueve día a día a ser una mejor persona, por ser mi soporte y complemento, por ser esa adorable compañía en mi afán por alcanzar este sueño.

A mi angelito Jorge Daniel, por convertirse en la fuerza que me motiva a salir adelante.

Este éxito también es de todos ustedes.

JEISSON R.

DEDICATORIA

A mis padres y mis hermanos que han sido la fortaleza durante todos estos años.

LIDA CRISTINA.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	18
1. MARCO TEÓRICO	20
1.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	20
1.2. PARÁMETROS EMPLEADOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL AGUA	21
1.2.1. Características sobresalientes de los parámetros empleados en la evaluación de los ICOs e IRCA	22
1.3. REGLAMENTACIÓN QUE RIGE LA CALIDAD DEL AGUA TRATADA.....	25
2. METODOLOGÍA	26
2.1. METODOLOGÍA EMPLEADA PARA LA TOMA DE MUESTRAS	26
2.1.1. Toma y preservación de las Muestras.....	26
2.1.2. Control y vigilancia del muestreo, preservación y análisis.....	27
2.2. Metodología usada para las mediciones puntuales	28
2.3. CÁLCULO DE LOS ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN (ICOS)	29
2.3.1. Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO).....	29
2.3.2. Índice de contaminación por mineralización (ICOMI)	30
2.3.3. Índice de contaminación por pH (ICOpH).....	30
2.3.4. Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS)	31
2.4. ACCIONES A EFECTUAR PARA MEJORAR LA CALIDAD DE RECURSO SEGÚN RESULTADOS DE LOS ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN ICOs.....	31
2.5. CÁLCULO DEL ÍNDICE DE RIESGO DE CALIDAD DE AGUA PARA EL CONSUMO HUMANO IRCA	32
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
3.1. ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN POR MINERALES (ICOMI)	33
3.2. ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN POR MATERIA ORGÁNICA (ICOMO)	34

3.3. ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN POR SÓLIDOS SUSPENDIDOS (ICOSUS)	34
3.4. ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN POR pH (ICOpH)	35
3.5. ACCIONES A EFECTUAR PARA LA POTABILIZACIÓN DE AGUA Y ESTADO ACTUAL DE LOS ACUEDUCTOS DE LA ZONA OBJETO DE ESTUDIO DE ACUERDO CON EL IRCA	36
3.5.1. Planta de potabilización urbana y calidad del agua en el municipio de Páramo	38
3.5.2. Planta de potabilización y calidad del agua en la vereda Juan Curí municipio de Páramo	38
3.5.3. Planta de potabilización y calidad del agua en la vereda El Palmar municipio de Páramo	39
3.5.4. Planta de potabilización y calidad del agua en la vereda El Bosque municipio de Pinchote	39
3.5.5. Análisis de resultados acueducto vereda Garcés Pinchote	40
3.5.6. Análisis de resultados acueducto urbano Pinchote	40
CONCLUSIONES	41
PROSPECTIVAS	42
BIBLIOGRAFÍA	43

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1. Parámetros usados para el cálculo de los Índices de Contaminación.</i>	<i>22</i>
<i>Tabla 2. Valores máximos permitidos de los parámetros empleados para la valoración de agua tratada.....</i>	<i>26</i>
<i>Tabla 3. Acueductos que captan recurso de aguas relacionadas con el río Fonce.....</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 4. Métodos de Análisis utilizados para el cálculo de los parámetros.....</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 5. Nivel de calidad de la fuente según ICOs.....</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 6. Nivel de riesgo según IRCA.</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 7. Índice de contaminación por minerales.....</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 8. Índice de contaminación por materia orgánica.....</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 9. Índice de contaminación por sólidos suspendidos.....</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 10. Índice de contaminación por pH ICOpH.....</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 11. Nivel de tratamiento sugerido después del análisis de los índices de contaminación ICOs.....</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 12. Índice de riesgo de agua para consumo humano (IRCA) después de potabilización.....</i>	<i>37</i>

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Ubicación geográfica de los municipios de Páramo y Pinchote en la cuenca del río Fonce.....</i>	<i>20</i>
--	-----------

GLOSARIO

ArcGis: herramienta para visualizar y crear mapas con información geográfica.

ASTM: siglas en inglés para la American Society of Testing Materials, que significa, Asociación Americana de Ensayo de Materiales, es una organización que emite una serie de normas internacionales con un alto nivel de confiabilidad.

AYUEDA: programa para el uso y ahorro eficiente del agua, documento emitido por la entidad prestadora del servicio de acueducto y alcantarillado de cada municipio.

CAS: Corporación Autónoma de Santander, máximo ente ambiental del departamento.

COT: Coliformes totales presentes en el agua medidos en unidades formadoras de colonias.

DBO: demanda biológica de oxígeno.

IA: índice de contaminación por alcalinidad

IC: índice de contaminación por conductividad

ICO: índice de contaminación

ICOMI: índice de contaminación por minerales

ICOMO: índice de contaminación por materia orgánica

ICOpH: índice de contaminación por pH

ICOT: índice de contaminación por Coliformes totales

ICOSUS: índice de contaminación por sólidos suspendidos

ID: índice de contaminación por dureza

IDBO: índice de contaminación por DBO.

In situ: significa en el mismo lugar

IO%= índice de contaminación por porcentaje de saturación de oxígeno

IRCA: índice de riesgo de calidad del agua para consumo humano

NTC: Norma Técnica Colombiana, referencia alguna norma utilizada para realizar algún procedimiento estandarizado.

O%: porcentaje de saturación de oxígeno, refleja la cantidad de oxígeno que se disuelve en una muestra de agua.

OD: cantidad de oxígeno disuelto en el agua en mg/l.

OTO: ortotodilina, indicador utilizado hallar la cantidad de cloro residual presente en el agua.

PSL: laboratorio certificado de la ciudad de Bucaramanga encargado de realizar los análisis estandarizados para los parámetros físicos, químicos y microbiológicos en estudio.

RAS: Reglamento técnico de agua potable y saneamiento

S.M: en inglés standar methods, hace referencia al método de análisis realizado por el laboratorio y estandarizado por la ASTM.

UNT: unidades nefelométricas de turbiedad

UPC: unidades platino cobalto, utilizadas para medir el color.

μ S/cm: unidades de conductividad, expresan la cantidad de micro-siemens que arrastran los sólidos suspendidos en el agua en un centímetro.

UFC: unidades formadoras de colonias, utilizadas para medir la cantidad de coliformes totales en 100 mililitros de agua.

RESUMEN

TÍTULO: EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LAS PLANTAS DE POTABILIZACIÓN URBANO-RURALES DE LOS MUNICIPIOS DE PÁRAMO Y PINCHOTE EN LA CUENCA DEL RÍO FONCE*.

AUTORES: JEISSON FABIAN RODRÍGUEZ BARRERA**.

LIDA CRISTINA FONTECHA ANGULO**.

PALABRAS CLAVES: Agua Potable, índices de Contaminación, Nivel de Contaminación, IRCA.

DESCRIPCIÓN.

En muchos países, una gran cantidad de sistemas de abastecimiento de agua en comunidades pequeñas no cumple los requisitos de salubridad, en consecuencia, las enfermedades relacionadas al agua potable están entre las principales causas de muerte dichas zonas. Adicionalmente, en Colombia no existe reglamentación sobre el nivel de contaminación de las fuentes hídricas antes de su tratamiento, siendo esto una falencia significativa al no considerar los puntos idóneos de captación de agua, y así reducir costos de operaciones.

Como solución alternativa, este proyecto propone el uso de la metodología de índices de contaminación, propuesta por Ramírez y Viña 1998, en las plantas de potabilización de los municipios de Páramo y Pinchote a lo largo de la cuenca del Río Fonce, según el Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca (POMCA) otorgado por la Corporación Autónoma de Santander máximo ente ambiental del departamento. Los indicadores considerados para tal evaluación fueron ICOMI, ICOMO, ICOpH e ICOSUS. También se empleó el Índice de Riesgo de Calidad del Agua Potable IRCA contemplado en el decreto 2115 del año 2007, con el propósito de valorar la calidad del agua para consumo humano y así, acordar y alcanzar objetivos realistas para una mejora progresiva en estas regiones.

* Práctica Empresarial.

** Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Director: Dr. Luis Javier López Giraldo, Universidad Industrial de Santander. Co-Director: Ing. Juan Agustín Gualdrón Rueda, Corporación de Tecnologías Ambientales Sostenibles de Bucaramanga CTAS.

ABSTRACT

TITLE: ASSESSMENT ON WATER QUALITY IN URBAN AND RURAL WATER TREATMENT PLANTS IN PÁRAMO AND PINCHOTE ALONG RÍO FONCE BASIN*.

AUTHORS: JEISSON FABIAN RODRÍGUEZ BARRERA**.

LIDA CRISTINA FONTECHA ANGULO**.

KEYWORDS: Potable Water, Pollution Indexes, Pollution Level, IRCA

DESCRIPTION

In several countries, a great amount of water provision systems in small communities don't fulfill basic sanitation requirements, thus, diseases related to potable water are among the main death causes. In addition, Colombia has no control regulations on the water sources pollution level before its treatment for further consume, being this a significant fault since the ideal water collection locations are not considered for the reduction of operation costs.

As an alternative solution, this project suggests using the pollution indexes method proposed by Ramírez and Viña in 1998 in the water treatment plants in Páramo and Pinchote along Río Fonce Basin, in compliance with the Basin's Management and Regulatory Plan (POMCA, for its Spanish acronym) awarded by the Autonomous Corporation of Santander, being the primary environmental institution in the region. Considered indicators for such assessment include pollution index of minerals (ICOMI), pollution index of organic matter (ICOMO), pollution index of pH (ICOpH) and pollution index of suspended solids (ICOSUS). The Potable Water Quality Risk Index (IRCA, idem) was used as well. The IRCA is set forth in 2115 Decree, 2007, its sole purpose is to assess water quality for human consumption and therefore to agree to and achieve realistic objectives for progressive enhancement in these regions.

* In Field Practice: Sustainable Environmental Technologies Corporation (CTAS).

** Faculty of Physical and Chemical Engineering. Chemical Engineering Department. Director: Luis Javier López Giraldo, Ph.D., Universidad Industrial de Santander. Co-Director: Juan Agustín Gualdrón Rueda, Eng., CTAS.

INTRODUCCIÓN

Colombia a diferencia de muchas naciones posee un rico y amplio patrimonio natural que cada día se ve más amenazado por la contaminación de sus fuentes hídricas. El acceso al agua potable constituye una de las necesidades básicas del ser humano, es considerado un factor muy importante en materia de salud y se afirma que su masificación es una herramienta eficaz en la mitigación de la pobreza. En muchos países en desarrollo y desarrollados, una proporción alta de sistemas de abastecimiento de agua en comunidades pequeñas no cumplen los requisitos de salubridad y probablemente más de 1000 millones de personas que viven en zonas rurales no cuentan con un suministro adecuado de agua, consecuencia de esto, las enfermedades transmitidas o relacionadas con agua potable figuran entre las tres principales causas de enfermedad y mortalidad. En Colombia el ministerio de protección social inició hace varios años programas para mejorar la calidad del agua suministrada a las poblaciones de pocos usuarios, pero el desarrollo de estos planes no ha impactado los acueductos veredales, los cuáles en algunos casos superan la cantidad de usuarios de la cabecera municipal.

La Corporación Autónoma de Santander (CAS), máximo ente ambiental del departamento, otorgó la licitación para ejecutar el Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca del Río Fonce (POMCA) a la Corporación de Tecnologías Ambientales Sostenibles (CTAS). Dentro de los distintos aspectos ambientales que hacen parte de éste programa, un punto muy importante en la formulación y evaluación del POMCA corresponde al componente hídrico. Dentro de la formulación de todo el plan operativo, la empresa realizó una zonificación de la cuenca (parte alta, media y baja) asignando el trabajo a distintos grupos en cada una de éstas zonas. Este muestra un análisis de calidad de agua para el consumo humano suministrada por los acueductos de la parte media baja de la cuenca catalogados como regiones críticas, consecuencia del impacto ambiental negativo

generado aguas arriba por actividades tales como: agricultura, ganadería, beneficiaderos de café y explotaciones mineras que producen materiales agregados para la construcción.

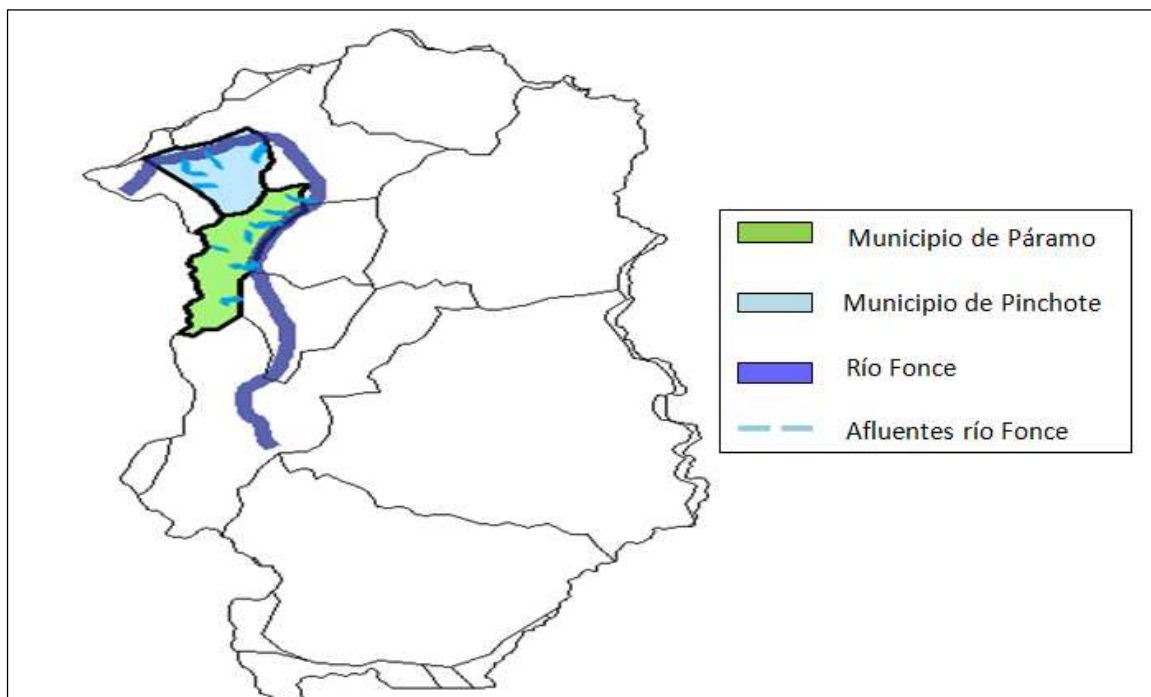
En el transcurso de nuestra labor de campo en los municipios de Páramo y Pinchote observamos de cerca la realidad vivida en los acueductos de la zona. En general se puede concluir que la calidad del agua es deficiente y, se debe en gran parte a: (i) la falta de políticas sobre el abastecimiento de agua en zonas rurales, (ii) la inexactitud a la hora de definir responsabilidades de los organismos encargados, (iii) el personal poco calificado y (iv) las frecuentes fallas de los sistemas de abastecimiento por deficiencias de funcionamiento y mantenimiento. En tales circunstancias es muy importante acordar y aplicar objetivos realistas de mejora progresiva en éstas regiones. Como consecuencia de lo expuesto, la metodología propuesta para evaluar la calidad de agua suministrada por los acueductos urbano-rurales de los municipios de Páramo y Pinchote se basará en el cálculo de los índices de contaminación (ICO) propuestos por Ramírez y Viña (1998), los cuales relacionan distintos parámetros físico-químicos representativos y permiten hacer un análisis sencillo y práctico de los resultados. Además, la metodología posibilita clasificar los resultados en categorías lo que finalmente permite vincular la clasificación con el nivel de prioridad de las medidas correctivas a aplicar. Cabe resaltar que a pesar de la fiabilidad y exactitud de la metodología empleada, en Colombia no se emplea debido a la falta de normatividad que complementa todo lo relacionado con la potabilización de agua. En consecuencia, *la importancia de este estudio radica en mostrar la pertinencia del uso de esta metodología como herramienta de interpretación de resultados para aquellos que sin ser especialistas, requieren de información para la toma de decisiones en pro de mejorar la calidad del agua.*

1. MARCO TEÓRICO

1.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

El municipio de Páramo (Figura 1) se encuentra localizado sobre la parte media de la cuenca del río Fonce. Las actividades económicas se sustentan en la producción agrícola y pecuaria a pequeña escala. El municipio de Pinchote (Figura 1) está ubicado sobre la parte baja de la cuenca. Las actividades económicas que tienen un impacto negativo importante sobre el río Fonce provienen de actividades avícolas a gran escala, actividades agrícolas, pecuarias y pequeñas empresas mineras que producen materiales agregados para la construcción.

Figura 1. Ubicación geográfica de los municipios de Páramo y Pinchote en la cuenca del río Fonce.



Fuente: Los autores (ArcGis versión 9.1)

1.2. PARÁMETROS EMPLEADOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL AGUA

La vasta cantidad de datos analíticos disponibles en un estudio de calidad de aguas, hace difícil identificar la fuente de las variaciones de la calidad de la misma y sobre todo comunicar los resultados de una manera comprensible. Una forma de solucionar este problema es utilizando una escala numérica simple relacionada con el grado de contaminación. Consecuentemente, un Índice de Contaminación (ICO) de agua es una relación matemática simple en la que se relacionan los parámetros fisicoquímicos que determinan la calidad del agua. En todos los casos el ICO debe tener una validez científica, disponibilidad, fiabilidad, representatividad, sensibilidad a cambios, sencillez y comparabilidad. Los resultados de los valores de los Índices de Contaminación (ICO) finalmente van de la mano con las medidas correctivas que se deben aplicar para mejorar la calidad del recurso hídrico.

Para poder determinar la calidad de la fuente y su grado de contaminación antes de su debido tratamiento en los respectivos acueductos urbano-rurales de los municipios de Páramo y Pinchote, se utilizó la formulación descrita por Ramírez y Viña (1998), en la cual relacionan 5 ICOs importantes para brindar una calificación de diferentes cualidades que presenta el agua. Los parámetros utilizados para calcular los índices dependen de la información existente y su importancia como estándar de calidad. En general, estos índices se seleccionan de acuerdo con su relevancia dentro del rol ecológico, ó porque en sí mismos conjugan en forma simultánea el impacto de distintas variables. Entre las variables fisicoquímicas empleadas para la formulación de los ICOs se encuentran: la conductividad, la dureza, la alcalinidad, el pH, el oxígeno disuelto, la demanda biológica de oxígeno, los coliformes totales y los sólidos suspendidos. Estas variables se agrupan con el fin de determinar diferentes Índices de contaminación tal como se resume en la Tabla 1:

Tabla 1. Parámetros usados para el cálculo de los Índices de Contaminación.

Parámetros	Índice de Contaminación
Alcalinidad, Conductividad, Dureza	ICOMI
DBO, Coliformes Totales, %de Saturación de Oxígeno disuelto	ICOMO
pH	ICOpH
Sólidos Suspendidos	ICOSUS

Fuente: Limnología Colombiana

Así mismo, es crucial determinar la calidad del agua resultante del proceso de tratamiento. La legislación colombiana en el Decreto 2115 del 2007 contempla la evaluación del Índice de Riesgo de Calidad del Agua para consumo humano (IRCA) como herramienta de valoración del agua potable. Dentro de los parámetros considerados para evaluar el IRCA se incluyen entre otros: el número de unidades formadoras de colonias de *E. coli*, los coliformes totales, el cloro residual libre, la turbiedad, el color aparente, el pH, la alcalinidad, la dureza y los nitratos.

A continuación se resumen las principales características de los parámetros que han sido mencionados en los párrafos anteriores a fin de resaltar su pertinencia a la hora de evaluar los indicadores tanto de contaminación como de calidad del agua tratada.

1.2.1. Características sobresalientes de los parámetros empleados en la evaluación de los ICOs e IRCA

1.2.1.1. Demanda biológica de oxígeno: Un alto valor de éste parámetro indica que los microorganismos necesitan un alto contenido de oxígeno para degradar la materia orgánica presente en el agua, es decir, si los valores para la DBO son

bajos, su influencia en el índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO) será menos representativo. [8]

1.2.1.2. Coliformes totales: La presencia de este grupo de bacterias en el agua se considera un índice evidente de la ocurrencia de polución fecal y por tanto de contaminación por organismos patógenos que contribuyen a incrementar el índice calculado por contaminación orgánica (ICOMO). [8]

1.2.1.3. Porcentaje de Saturación de Oxígeno Disuelto: Para garantizar vida vegetal y animal se debe asegurar un excelente nivel de saturación de oxígeno (valores cercanos al 100%). Los valores mayores a 100% indican fuentes de agua muy contaminadas, de esta forma aumenta la influencia en el cálculo del índice de contaminación por materia orgánica ICOMO.

1.2.1.4. pH: El grado de intensidad de la acidez o de la alcalinidad de la muestra debe estar en un rango entre 6 a 8 para que el índice de contaminación por pH (ICOpH) caracterice la fuente hídrica como aceptable [8]. Para el cálculo del IRCA, el rango permisible para agua tratada debe estar entre 6,5 y 8,5. [5]

1.2.1.5. Alcalinidad: Los valores que caracterizan una fuente de agua sin contaminación deben ser menores a 50 mg CaCO₃/l. El cálculo del índice de contaminación por minerales ICOMI aumenta con el incremento del valor de la alcalinidad hasta llegar a un máximo (> 250 mg CaCO₃/l) [8]. Para el cálculo del IRCA es muy importante asegurar un valor entre 0-50 mg CaCO₃/l [6] que aseguren que los procesos de coagulación en las planta de tratamiento se desarrollen de manera eficiente.

1.2.1.6. Conductividad: La cantidad de iones disueltos en el agua es directamente proporcional al índice de contaminación por mineralización ICOMI. Los valores superiores a 270 µS/cm son característicos de un alto grado de polución. [8]

1.2.1.7. Dureza: El índice de contaminación por minerales ICOMI aumenta significativamente para valores mayores a 110 CaCO₃/l, valores inferiores a 30 CaCO₃/l no impactan significativamente el cálculo del grado de contaminación [8]. Para el cálculo del IRCA el máximo valor permisible según la resolución 2115 es de 300 CaCO₃/l [6].

1.2.1.8. Sólidos Suspendidos: El valor para este parámetro debe ser inferior a 10 mg/l para que el nivel de calidad de la fuente sea aceptable. El cálculo del Índice de contaminación por sólidos suspendidos ICOSUS es directamente proporcional al valor de los sólidos suspendidos (valor máximo 340 mg/l) [8].

1.2.1.9. Parámetros microbiológicos (Coliformes y E. coli): Para el cálculo del índice de contaminación por materia orgánica ICOMO, los valores de coliformes mayores a 20000 UFC/100ml son catalogadas fuentes de agua muy deficientes, para valores menores a 500 UFC/100 el cálculo del ICOMO caracteriza las fuentes de agua como aceptables [8]. Al valorar el IRCA, se debe asegurar la ausencia de estos dos parámetros en el agua potable sí, alguna de estas dos bacterias está presente en el recurso hídrico se considera no apto para consumo humano.

1.2.1.10. Turbiedad: Resulta muy importante para el cálculo del IRCA ya que el parámetro evalúa el buen desempeño de las etapas de floculación-coagulación y filtración. Un valor superior a 2 UNT [6] indica un inadecuado tratamiento utilizado en estas etapas del proceso, aumentando el riesgo de calidad del agua para consumo humano.

1.2.1.11. Cloro residual libre: Si el contenido de cloro en el agua potable es menor a 1,5 mg Cl₂/l [5], no hay un impacto significativo en el nivel de riesgo evaluado por el IRCA, de lo contrario se considerará no apta para el consumo humano puesto que el puntaje de riesgo es alto.

1.2.1.12. Color aparente: Un valor inferior a 15 UPC [6] en la escala usada para medir el color hace referencia a un buen estado del agua y no representa alguna alteración en la etapa de filtración.

1.2.1.13. Nitratos: El grado de nutrientes que presenta el agua potable no debe exceder de 10 mg NO₂/l [6], de lo contrario afecta negativamente el valor del IRCA y su posterior clasificación de nivel de riesgo.

1.3. REGLAMENTACIÓN QUE RIGE LA CALIDAD DEL AGUA TRATADA

La carencia de normas adecuadas para reglamentar y evaluar todo lo referente a sistemas de potabilización, conlleva a que actualmente los análisis de calidad de agua se realicen haciendo una evaluación de los parámetros físico-químicos sin un método eficaz para solucionar los problemas más comunes que presentan estos sistemas. La norma mas reciente para agua potable es la Resolución 2115 de 2007 que en compañía del reglamento técnico de agua potable RAS 2000, fueron elaborados como complemento al Decreto 1594/84 para la evaluación de los distintos parámetros físicos, químicos, orgánicos y microbiológicos. A pesar que esta normatividad contempla muchos más parámetros, sólo se emplearán en este proyecto aquellos que tienen una relación directa con los cálculos del IRCA, ya que ésta ha sido la metodología escogida para la validación de los resultados obtenidos. En la Tabla 2 se muestran los valores máximos permisibles para cada uno de los parámetros mencionados.

Tabla 2. Valores máximos permitidos de los parámetros empleados para la valoración de agua tratada

Parámetro	Valor permisible	Fuente
Alcalinidad	200 mg/l	Resolución 2115 del 2007
Dureza	300 mg/l	Resolución 2115 del 2007
Coliformes Totales	0	Resolución 2115 del 2007
pH	6,5 -8,5	RAS 2000
Color aparente	15 UPC	Resolución 2115 del 2007
Turbiedad	2 NTU	Resolución 2115 del 2007
Cloro Residual Libre	1,5 mg Cl ₂ /l	RAS 2000
Nitratos	10 mg/l	Resolución 2115 del 2007
<i>Escherichia coli</i>	0	Decreto 1594 de 1984

Fuente: Legislación Colombiana

2. METODOLOGÍA

2.1. METODOLOGÍA EMPLEADA PARA LA TOMA DE MUESTRAS

Todas las acciones empleadas para los respectivos muestreos en los acueductos se hicieron siguiendo la Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 5667-5, en la cual se consignan las directrices para el muestreo de agua potable en instalaciones de abastecimiento de agua. La información dada a continuación corresponde a cada uno de los lineamientos estipulados por la norma y utilizados en el manejo de las muestras en cada uno de los municipios.

2.1.1. Toma y preservación de las Muestras

Los puntos donde se realizaron los respectivos muestreos fueron tomados del programa de uso eficiente y ahorro del agua (AYUEDA) contemplados en la Ley 373/97 para cada municipio. Estos documentos hacen parte del archivo de la Corporación Autónoma de Santander CAS y presentan una información detallada sobre el recurso hídrico. Los acueductos de los municipios de Páramo y Pinchote que se abastecen de afluentes del río Fonce son:

Tabla 3. Acueductos que captan recurso de aguas relacionadas con el río Fonce.

Municipio	Acueducto		
Páramo	Urbano	Vereda Juan Curí	Vereda el Palmar
Pinchote	Urbano	Vereda El Bosque	Vereda Garcés

Fuente: Ayuedas de los municipios archivo de la CAS

Se utilizaron cavas con hielo como método de refrigeración (4 °C) de las muestras, antes de ser enviadas al laboratorio PSL escogido para realizar los análisis en la ciudad de Bucaramanga. Se tuvieron en cuenta las precauciones dadas por la Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 5667-5 para la toma de muestras. Brevemente, antes del respectivo muestreo se realizó una purga del recipiente (dos o tres veces) y se llenó el envase dejando un pequeño espacio de cabeza. Todo lo anterior se realizó con el objetivo de asegurar que la muestra conserve las concentraciones relativas de todos los componentes presentes en el material original sin que ocurran cambios significativos antes de su análisis.

2.1.2. Control y vigilancia del muestreo, preservación y análisis.

A continuación se presenta la metodología utilizada para el control, vigilancia, preservación y análisis de las muestras recolectadas en cada uno de los acueductos en estudio.

2.1.2.1. Recipientes para las muestras: Para almacenar las muestras se utilizaron frascos de plástico de 1 litro de volumen según lo estipulado por la Norma Técnica Colombiana ISO 5667-5 para muestreo de agua potable.

2.1.2.2. Etiquetas: Para prevenir algún tipo de confusión en la identificación de las muestras, se utilizó una etiqueta con la siguiente información: número de la muestra, nombre del recolector, fecha, hora y lugar de recolección.

2.1.2.3. Libro de campo: Toda la información correspondiente a observaciones de campo se registró para tener una memoria del procedimiento realizado.

2.1.2.4. Formato de solicitud de Análisis: Se diligenciaron los formatos de solicitud dados por el laboratorio en los que se consignan datos relacionados con el transporte, tipo de análisis y encargados de entregar las muestras. Los métodos y análisis realizados resumen a continuación:

2.1.2.4.1. Métodos Instrumentales y normas empleadas para la medición de los parámetros utilizados

Los métodos analíticos para medir los parámetros escogidos fueron desarrollados en el laboratorio PSL PROANÁLISIS LTDA certificado por el ministerio de salud. Todos los análisis fueron efectuados empleando normas internacionales para análisis de aguas (ver Tabla 4).

Tabla 4. Métodos de Análisis utilizados para el cálculo de los parámetros.

Parámetro	Unidades	Método de Análisis
Conductividad	mg/l	S.M. 2510 B
Alcalinidad	mg/l	S.M. 2320
Dureza	mg/l	S.M. 2220
DBO	mg O2/l	S.M. 5210 B
Coliformes Totales	UFC/100 ml	S.M. 9230 B
Sólidos Suspendidos	mg/l	S.M. 2540 D
Turbiedad	UNT	S.M. 2130.
Color Aparente	UPC	S.M. 2120
Nitratos	mg/l	J.R. Zambelli
<i>Escherichia coli</i>	UFC/100 ml	S.M. 9230 B

Fuente: Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico

A continuación se presenta la metodología que se utilizó para las mediciones que se hicieron en campo con el objetivo de complementar los resultados de los parámetros analizados en el laboratorio PSL PROANÁLISIS.

2.2. Metodología usada para las mediciones puntuales

Los parámetros medidos en campo y la metodología desarrollada para llevar a cabo tal labor se resumen a continuación:

2.2.1. Porcentaje de saturación de oxígeno disuelto OD: Para el cálculo del porcentaje de saturación del oxígeno disuelto se empleó la Ley de Henry. Este valor se calculó utilizando tablas de solubilidad del oxígeno en agua con aire a 760 mm Hg y factores de corrección de la presión parcial y la saturación relativa a diferentes alturas [9].

2.2.2. Cloro residual libre y pH: La medición en campo del cloro residual libre y el pH se fundamenta en los cambios de color que sufre el analito (agua) debido a la presencia de un indicador. En el primero de los casos se usó como indicador la OTO (orto-todilina), mientras que para la determinación del pH se empleó el rojo de fenol. Seguidamente se compara el color obtenido con los colores preestablecidos para el indicador obteniéndose así valores numéricos de ambos parámetros.

2.2.3. Temperatura: Se utilizó un termómetro de mercurio fabricado en vidrio para calcular la temperatura del agua en los sitios de muestreo.

2.3. CÁLCULO DE LOS ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN (ICOs)

2.3.1. Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO)

$$\text{ICOMO} = 1/3 (\text{IDBO} + \text{ICOT} + \text{IO}\%)$$

IDBO es el índice de DBO $\text{IDBO} = -0,05 + 0,70 \text{ Log}_{10} \text{ DBO (mg/L)}$

Para DBO > 30 mg/l, IDBO = 1. ; Para DBO < 2 mg/l ID = 0.

- ICOT es el Índice de Coliformes Totales $\text{ICOT} = -1,44 + 0,56 \text{ Log}_{10} \text{ COT}$

Para COT > 20000 UFC/100 ml, ICOT = 1.

Para COT < 500 UFC/100 ml, ICOT = 0.

UFC: Unidades Formadoras de Colonias

- O% es el porcentaje de saturación de oxígeno

$IO\% = 1,00 - 0,01 O \%$

Para O% > 100%, entonces O% = 1.

2.3.2. Índice de contaminación por mineralización (ICOMI)

$$ICOMI = 1/3 (IC + ID + IA)$$

- IC es el índice de Conductividad $Log IC = -3,26 + 1,34 Log C (\mu S/cm)$

Para conductividades (C) mayores a 270 uS/cm, IC=1

- ID es el índice de dureza $Log ID = -9,09 + 4,40 Log D (mg/l)$

Durezas (D) mayores a 110 mg/l, ID = 1.

Durezas (D) menores a 30 mg/l tienen ID = 0.

- IA es el índice de alcalinidad $IA = -0,25 + 0,005 A (mg/l)$

Para alcalinidades (A) mayores a 250 mg/l tienen IA = 1.

Alcalinidades menores a 50 mg/l tienen IA = 0.

2.3.3. Índice de contaminación por pH (ICOpH)

$$ICOpH = \frac{e^{-31,08 + 3,45 pH}}{1 + e^{-31,08 + 3,45 pH}}$$

Si el pH es menor a 7, entonces $pH = 14 - pH$, si el pH es superior a 7 se toma el valor reportado en el análisis y se calcula el índice ICOpH.

2.3.4. Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS)

$$\text{ICOSUS} = -0,02 + 0,003 \text{ Sólidos Suspendidos } \left(\frac{\text{mg}}{\text{l}}\right)$$

Sólidos suspendidos mayores a 340 mg/l tienen ICOSUS=1

Sólidos suspendidos menores a 10 mg/l tienen ICOSUS =0

En la Tabla 5 se presenta una relación entre éstos índices y su grado de contaminación.

Tabla 5. Nivel de calidad de la fuente según ICOs

ICO	NIVEL DE CALIDAD FUENTE
0 - 0,25	Aceptable
> 0,25 - 0,5	Regular
>0,5 - 0,75	Deficiente
>0,75 - 1,0	Muy Deficiente

Fuente: Limnología Colombiana

2.4. ACCIONES A EFECTUAR PARA MEJORAR LA CALIDAD DE RECURSO SEGÚN RESULTADOS DE LOS ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN ICOS

Los estudios que se han adelantado sobre los índices ICO permiten evaluar de una forma excelente el grado de contaminación del recurso antes de su potabilización.

Una visualización de los resultados obtenidos permitirá en primera instancia hacer una clasificación del nivel de contaminación que presenta el agua a la entrada de cada acueducto. Seguidamente un análisis de estos resultados conducirá a identificar los parámetros que impactan negativamente la calidad del agua y proponer las acciones de tratamiento pertinentes.

2.5. CÁLCULO DEL ÍNDICE DE RIESGO DE CALIDAD DE AGUA PARA EL CONSUMO HUMANO IRCA

Para evaluar la calidad del agua potabilizada por los acueductos, se calcularon los índices de riesgo de calidad de agua para el consumo humano, contemplados por el ministerio de la Protección Social en la Resolución 2115 del 2007.

Tabla 6. Nivel de calidad de la fuente según ICOs.

Características	Puntaje de riesgo
Color Aparente	6
Turbiedad	15
pH	1,5
Cloro	15
Alcalinidad	1
Dureza Total	1
Nitratos	1
Coliformes Totales	15
<i>Escherichia coli</i>	25

Fuente: Limnología Colombiana

Los parámetros para la evaluación del IRCA son comparados con los valores máximos establecidos en la norma (ver Tabla 2), si alguno de ellos sobrepasa este valor se le asigna el puntaje de riesgo dado en la Tabla 6. Seguidamente se calcula el Índice de riesgo de calidad del agua para consumo humano aplicando la siguiente fórmula:

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

Dependiendo del valor calculado, la resolución 2115 del año 2007 clasifica estos valores en distintas categorías sobre el nivel de riesgo del agua para consumo humano como se muestra en la Tabla 7.

Tabla 6. Nivel de riesgo según IRCA.

%IRCA	Nivel de riesgo
80,1 - 100	Inviabile sanitariamente
35,1 - 80	Alto
14,1 - 35	Medio
5,1 - 14	Bajo
0 - 5	Sin riesgo

Fuente: Decreto 2115 del 2007

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las tablas 8 a 11 se resumen los resultados obtenidos de cada uno de los parámetros evaluados (ver sección 2.1.2.5.1) y los valores de los ICOs (ver sección 2.3).

3.1. ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN POR MINERALES (ICOMI)

Tabla 7. Índice de contaminación por minerales.

ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN POR MINERALES								
Acueducto	Conductividad (mg/l)	IC	Dureza (mg/l)	ID	Alcalinidad (mg/l)	IA	ICOMI	Contaminación de la Fuente
Urbano Páramo	220	0,76	16	0,0001	44	0	0,2522	Regular
Vda Juan Curí Páramo	70	0,163	25	0,0011	32	0	0,0547	Aceptable
Vda Palmar Páramo	196	0,648	23	0,0007	210	0	0,2162	Regular
Vda El Bosque Pinchote	356	1	11	0	56	0,03	0,4906	Regular
Vda Garcés Pinchote	416	1	25	0,0011	71	0,105	0,6275	Deficiente
Urbano Pinchote	250	0,897	51	0,0265	69	0,095	0,3398	Regular

Fuente: Los autores

Analizando los resultados obtenidos se puede inferir que los valores regulares y deficientes del ICOMI son una consecuencia directa de los altos valores de conductividad reportados. Consecuentemente, el mejoramiento de la calidad del

agua estará condicionado a la implementación de etapas de floculación-coagulación y de estabilización que minimicen la cantidad de iones disueltos.

3.2. ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN POR MATERIA ORGÁNICA (ICOMO)

Tabla 8. Índice de contaminación por materia orgánica.

ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN POR MATERIA ORGÁNICA								
Acueducto	DBO	IDBO	COT (UFC/100ml)	ICOT	O%	IO%	ICOMO	Contaminación de la Fuente
Urbano Páramo	0	0	76	0	97,6	0,0233	0,0077	Aceptable
Juan Curí Páramo	0	0	0	0	97	0,0292	0,0097	Aceptable
Palmar Páramo	0	0	3540	0,5474	74	0,2595	0,2690	Regular
El Bosque Pinchote	140	1	5670	0,662	76,9	0,2308	0,6309	Deficiente
Garcés Pinchote	121	1	3280	0,5288	82,7	0,1725	0,5671	Deficiente
Urbano Pinchote	12,3	0,7129	640	0,1314	96,85	0,0315	0,2920	Regular

Fuente: Los autores

Cuando se analizan cada uno de los parámetros considerados en el cálculo del ICOMO se concluye que las fuentes con características regulares o deficientes son un resultado directo de valores elevados de la DBO y los Coliformes totales. Para catalogar el nivel de calidad de la fuente como aceptable en estos acueductos es necesaria una etapa de aireación con el fin de disminuir la demanda biológica de oxígeno y una adecuada desinfección para asegurar la ausencia de Coliformes presentes en el agua.

3.3. ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN POR SÓLIDOS SUSPENDIDOS (ICOSUS)

Los resultados consignados en la Tabla 10 muestran claramente que los acueductos de las veredas el Bosque y Garcés presentan contaminación por este factor. Con el objetivo de mantener la cantidad de sólidos suspendidos en un nivel

aceptable será necesario garantizar un buen desempeño en las etapas de pretratamiento (floculación-coagulación y filtración).

Tabla 9. Índice de contaminación por sólidos suspendidos.

ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN POR SÓLIDOS SUSPENDIDOS			
Acueducto	SS (mg/l)	ICOSUS	Contaminación de la Fuente
Urbano Páramo	11	0,013	Aceptable
Vereda Juan Curí Páramo	12	0,016	Aceptable
Vereda Palmar Páramo	10	0,010	Aceptable
Vereda El Bosque Pinchote	185	0,535	Deficiente
Vereda Garcés Pinchote	144	0,412	Regular
Urbano Pinchote	78	0,214	Aceptable

Fuente: Los autores

3.4. ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN POR pH (ICOpH)

Tabla 10. Índice de contaminación por pH ICOpH.

ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN POR pH			
Acueducto	pH	ICOpH	Contaminación de la Fuente
Urbano Páramo	7,2	0,004	Aceptable
Vereda Juan Curí Páramo	7,2	0,004	Aceptable
Vereda Palmar Páramo	7,4	0,008	Aceptable
Vereda El Bosque Pinchote	8,1	0,087	Aceptable
Vereda Garcés Pinchote	7,9	0,044	Aceptable
Urbano Pinchote	7,2	0,004	Aceptable

Fuente: Los Autores

Los valores del pH para todos los acueductos se encuentran dentro del rango para el cual el cálculo del índice de contaminación ICOpH considera que las fuentes tienen un nivel de contaminación aceptable. De esta forma, no se generarán

problemas de corrosión, ni tampoco se presentaran inconvenientes en la etapa de coagulación.

3.5. ACCIONES A EFECTUAR PARA LA POTABILIZACIÓN DE AGUA Y ESTADO ACTUAL DE LOS ACUEDUCTOS DE LA ZONA OBJETO DE ESTUDIO DE ACUERDO CON EL IRCA

En las secciones anteriores se emplearon los ICOs como herramienta de diagnóstico de la calidad de la fuente hídrica antes de su tratamiento. Así mismo, se esbozaron las acciones de tratamiento a efectuar con el ánimo de obtener agua potable. Siendo consecuentes con los alcances de este trabajo se resumen a continuación las estrategias a seguir (Tabla 12), las unidades de tratamiento empleadas en las plantas de potabilización y la calidad del agua para consumo humano de acuerdo con la metodología IRCA (Tabla 13).

Tabla 11. Nivel de tratamiento sugerido después del análisis de los índices de contaminación ICOs.

Acueducto	Tratamiento Según Análisis ICOs
Urbano Páramo	Floculación-Coagulación-Estabilización
Vda Juan Curí Páramo	No necesita tratamiento
Vda Palmar Páramo	Aireación-Desinfección-Floculación-Coagulación-Filtración.
Vda El Bosque Pinchote	Aireación-Pretratamiento- Floculación-Coagulación- Filtración-Desinfección-Estabilización
Vda Garcés Pinchote	Aireación-Pretratamiento-Coagulación-Floculación-Filtración-Desinfección
Urbano Pinchote	Aireación -Desinfección-Estabilización

Fuente: Los autores

Tabla 12. Índice de riesgo de agua para consumo humano (IRCA) después de potabilización.

ÍNDICE DE RIESGO DE CALIDAD DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO								
			ACUEDUCTOS					
Puntaje de Riesgo Decreto 2115	Valor Permisible Parámetro	Parámetro	Urbano Pinchote	Vda Garcés Pinchote	Vda el Bosque Pinchote	Vda El Palmar Páramo	Vda Juan Curí Páramo	Urbano Páramo
6	15 UPC	Color Aparente	17,2	26	458	12,4	2,1	15,2
15	2 NTU	Turbiedad	1,8	3,5	218	32	1,1	4
1,5	6,5 - 9	pH	6,7	6,7	6,2	7,1	6,9	6,7
15	1,5 mg Cl ₂ /l	Cloro	0	0	0	0	0	0
1	200 mg CaCO ₃ /l	Alcalinidad	41	64	32	196	11,4	41
1	300 mg CaCO ₃ /l	Dureza Total	40	40	6	60	15,3	40
1	10 mg NO ₂ /l	Nitratos	11,3	0,56	12,2	3,2	10,8	0,85
15	0 UFC/100 ml	Coliformes	0	120	180	100	0	42
25	0 UFC/100 ml	<i>Escherichia coli</i>	0	0	100	0	0	0
Σ 80,5	Puntaje de Riesgo características NO aceptadas		7	36	63,5	40	1	21
IRCA			8,70	44,72	80,38	49,69	1,24	26,09
NIVEL DE RIESGO			BAJO	ALTO	INVIABLE SANITARIAMENTE	ALTO	SIN RIESGO	MEDIO

Fuente: Los autores

3.5.1. Planta de potabilización urbana y calidad del agua en el municipio de Páramo

El tratamiento utilizado en el acueducto urbano del municipio de Páramo consta de las siguientes etapas: coagulación, filtración, desinfección y estabilización. Teniendo en cuenta los resultados de la Tabla 12 se esperaba que el agua potabilizada no presente un riesgo para el consumo humano. Sin embargo, cuando se analizan los resultados obtenidos a través del IRCA se evidencia el riesgo medio del agua tratada. Esta situación resultado del incumplimiento de la legislación actual que contempla que el agua para consumo humano debe estar exenta de coliformes. Por tal razón se infiere que las medidas contempladas en la etapa de desinfección son insuficientes para cumplir con los requerimientos de ley, por tanto se debe implementar una post-cloración (41mg/l) [5], una floculación con un tiempo de retención de 20-40min y un gradiente de velocidad de 15-75 1/s (dependiendo del tipo de floculador a instalar) [5], una coagulación con una dosis óptima (hallada por medio del método de jarras) constante que se disperse uniformemente en el líquido [5], y la filtración debe ser lenta con un período de maduración de hasta dos semanas [5].

3.5.2. Planta de potabilización y calidad del agua en la vereda Juan Curí municipio de Páramo

Los resultados obtenidos (Tabla 12) muestran que no es necesario utilizar algún tipo de tratamiento para garantizar la buena calidad del agua suministrada a la población. No obstante, la vereda Juan Curí cuenta con un moderno acueducto de tecnología alemana donde se realizan las siguientes operaciones: coagulación, floculación, filtración y desinfección. Como era de esperarse, los resultados obtenidos a través del IRCA confirman que el agua suministrada a la comunidad no presenta ningún riesgo. Sin embargo, se observa (Tabla 13) que el contenido total de nitratos excede ligeramente el valor máximo permitido por la resolución 2115 del 2007. Para corregir esta situación se sugiere una estabilización disminuyendo el pH de 6 a 7.

3.5.3. Planta de potabilización y calidad del agua en la vereda El Palmar municipio de Páramo

La planta de potabilización cuenta con un sistema de tratamiento primario dotado de un desarenador en mal estado. Sin embargo, los resultados obtenidos a través de la evaluación de los ICOs sugieren que para alcanzar altos estándares de calidad del agua sería necesario implementar, entre otras, etapas de aireación, floculación-coagulación y desinfección (Tabla 12). Como era de esperarse, la ausencia de dichas etapas conduce a resultados calificados como de alto riesgo según la metodología IRCA (Tabla 13). Dentro de los parámetros que contribuyen a la mala calidad del agua se destacan la turbiedad y el contenido de UFC de *E. coli* que sobrepasan respectivamente 15 y 100 veces los valores permisibles. Esta situación es preocupante ya que esta planta de tratamiento abastece un número aproximado de 225 usuarios.

Consecuentemente, los entes de control deben garantizar que las empresas prestadoras del servicio implementen en la planta de tratamiento las etapas sugeridas en la Tabla 12.

3.5.4. Planta de potabilización y calidad del agua en la vereda El Bosque municipio de Pinchote

El tratamiento usado en esta planta de potabilización es básicamente por remoción de sólidos gruesos mediante una rejilla, es decir, sólo se está realizando una operación de las propuestas por la metodología de ICOs (Tabla 12). Consecuentemente, los resultados obtenidos a través del IRCA catalogan el agua como inviable sanitariamente. Esta calificación está ligada a los altos valores obtenidos para el color aparente, la turbiedad, y las unidades formadoras de coliformes y *E. coli*. En efecto dichos parámetros sobrepasan respectivamente 30, 108, 180 y 100 veces los valores máximos permisibles. Como en el caso anterior, la situación es muy preocupante ya que esta planta de potabilización abastece un número aproximado de 380 usuarios. Como consecuencia, los entes de control

deben garantizar que las empresas prestadoras del servicio ejecuten las acciones de tratamiento sugeridas en la Tabla 12.

3.5.5. Análisis de resultados acueducto vereda Garcés Pinchote

La planta de potabilización cuenta con las siguientes unidades de tratamiento: floculación-coagulación, filtración y desinfección. Cuando se comparan estas etapas con las sugeridas por la metodología de ICOs (Tabla 12) se evidencia que no fueron consideradas las etapas de pretratamiento y aireación en la construcción de dicha planta. Como consecuencia de lo enunciado los valores del IRCA catalogan esta agua como de alto riesgo. La falta de etapas de pretratamiento impactan negativamente las etapas posteriores de floculación-coagulación y filtración. Como resultado se puede evidenciar que la turbiedad y el color sobrepasan 0,7 veces los valores máximos permisibles. A pesar que existe una etapa de desinfección, el valor de coliformes totales sobrepasa la norma en 120 veces (Tabla 13). Como en el caso anterior, la situación es muy preocupante ya que esta planta de potabilización abastece un número aproximado de 290 usuarios. Consecuentemente, los entes de control deben garantizar que las empresas prestadoras del servicio ejecuten las acciones de tratamiento sugeridas en la Tabla 12.

3.5.6. Análisis de resultados acueducto urbano Pinchote

Las operaciones efectuadas en la planta de tratamiento son: pretratamiento, floculación-coagulación, filtración y desinfección. Observando el tipo de tratamiento que se debe efectuar (Tabla 12), se evidencia la falta de aireación para cumplir con lo propuesto en la metodología. Sin embargo, de acuerdo con los parámetros contemplados por el IRCA este factor no tendrá una incidencia mayor en la calidad del agua. Según la metodología del IRCA, la calificación del agua en esta planta de tratamiento es de bajo riesgo. Esta situación es sorprendente ya que la planta cuenta con las etapas de tratamiento requeridas para el cumplimiento de las normas actuales. Estos resultados pueden ser explicados por el incumplimiento del Reglamento Técnico de Agua Potable y Saneamiento.

CONCLUSIONES

- ✓ Los resultados obtenidos mediante la utilización de la metodología de los Índices de Contaminación (ICOs) en los municipios de Páramo y Pinchote muestran en general que las fuentes de agua pueden catalogarse como de baja calidad. Adicionalmente, los resultados de este análisis permiten sugerir las acciones necesarias para llevar a cabo un adecuado tratamiento y potabilización del recurso hídrico en las regiones menos favorecidas del país.
- ✓ Se demostró la pertinencia del uso de la metodología de los Índices de contaminación como herramienta de interpretación de resultados para caracterizar el nivel de calidad de una fuente de agua con el objetivo de tomar decisiones *en pro* de mejorar la calidad del recurso.
- ✓ Los resultados obtenidos para el Índice de Contaminación por Materia Orgánica (ICOMO) fueron determinantes a la hora de evaluar el riesgo por coliformes que afectan directamente la salud de la población asentada en la zona de influencia de la cuenca baja del río Fonce.
- ✓ Se confirma la validez del IRCA como herramienta de control de la calidad del agua para consumo humano.

PROSPECTIVAS

- ✓ Implementar un *software* que se fundamente en el cálculo de los ICOs para identificar fácilmente las variaciones de la calidad del agua y así mismo tomar los correctivos necesarios para mejorar la calidad del recurso.
- ✓ Es necesario que los organismos encargados de formular las normas relacionadas con potabilización de agua implementen la metodología ICO para identificar los puntos idóneos de toma de agua que serán empleados en las plantas de tratamiento y potabilización.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] BROOKS. David B. Agua. Manejo a Nivel Local. Primera edición. Bogotá: Alfaomega. 2004.
- [2] DOCUMENTO DEL BANCO MUNDIAL. Agua Potable para Poblados. Washington, D.C. 1976
- [3] FORO PAIPA 2007. Agua y vida en Colombia. Apuntes y conclusiones. Primera Edición. Bogotá: Editorial politécnico Grancolombiano. 2008.
- [4] MARÍN.Z. Bienvenido G. Manual de Química del Agua Teoría y Práctica. Primera edición. Universidad del Magdalena. Santa Marta: Editorial Magdalena. 2009 p.43-49
- [5] MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO. Dirección de agua potable y saneamiento básico. Sistemas de Potabilización. Reglamento Técnico del sector de agua potable y saneamiento básico. Sección II; Título C. Bogotá D.C. RAS Noviembre de 2000. p. C.19-C.20
- [6] MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL. Resolución N. 2115 /2007. Capítulo II, art. 2. Capítulo IV, art.13. Bogotá D.C. Junio 22 de 2007.
- [7] MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Decreto 1594/84. Capítulo IV. Art 37-39. Bogotá D.C. Junio 26 de 1984.
- [8] RAMÍREZ. Alberto y VIÑA. Gerardo. Limnología Colombiana. Segunda edición. Colombia. Editorial Universidad Jorge Tadeo Lozano. 1985.
- [9] ROLDÁN. Gabriel A y RAMÍREZ John Jairo. Fundamentos de limnología tropical. Segunda edición. Colombia. Editorial de la Universidad de Antioquia. 2008. p.183-186.

[10] ROMERO.R. Jairo A. Calidad del agua. Segunda edición. Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. 2005. p. 105-130

[11] RUÍZ, José E y GÓMEZ. Jeremías. Calidad del agua en Colombia. Ministerio de Agricultura. Instituto Colombiano de Hidrología. Bogotá: Himat. 1988. p. 42-48

[12] TEBBUT.T. Fundamentos de control de la calidad del agua. Quinta impresión. México: Editorial Limusa. 1998. p.22-23.