

**DIAGNOSTICO Y EVALUACION DE LA CALIDAD DE AGUA EN LA PLANTA
DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PTAR DE RIO FRIO**

NORISABEL HIGUERA ZAPATA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2014

**DIAGNOSTICO Y EVALUACION DE LA CALIDAD DE AGUA EN LA PLANTA
DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PTAR DE RIO FRIO**

NORISABEL HIGUERA ZAPATA

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Ingeniera Química**

Director

Luis Javier López Giraldo

Ingeniero químico Ph.D

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2014

DEDICATORIA

A Dios gracias por todas las pruebas de fe que ha puesto en mi camino, las cuales me han enseñado a ser humilde, fuerte, emprendedora y determinada, por todas las bendiciones y oportunidades que me ha brindado y brindará a lo largo de mi vida.

A mi hermosa abuela y padres quienes han formado a la mujer que soy, por el amor y tiempo que me han dedicado hasta en los momentos más difíciles de mi vida, ustedes siempre serán mi razón de vivir.

A mi hermosa hermana muchas gracias por estar conmigo en las buenas y en las malas.

LOS AMO.

A mi director de tesis Luis Javier López Giraldo, muchas gracias por brindarme su confianza, apoyo e incondicionalidad, deseo muchas bendiciones para él y para su familia.

A esos compañeros de carrera que por cierto nunca voy a olvidar, a cada uno muchas gracias por compartir esas experiencias vividas durante el trayecto de la carrera:

Giannina, Carlos Alberto, Jully P, Jhon F.

CONTENIDO

	Página
INTRODUCCIÓN.....	17
1. MARCO CONCEPTUAL.....	20
1.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	20
1.2. TIPO DE TRATAMIENTO QUE IMPLEMENTA LA EMPRESA.....	20
1.3. BENEFICIOS APORTADOS POR EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES.....	23
1.4. MODELOS EMPLEADOS PARA CUANTIFICAR EFICIENCIA EN EL GRADO DE REMOCIÓN.....	24
1.5. REGLAMENTACIÓN Y LEYES QUE APLICAN.....	25
2. METODOLOGÍA.....	27
2.1. TOMA DE MUESTRAS.....	27
2.1.1. Puntos de monitoreo.....	28
2.2. NORMAS EMPLEADAS PARA LA MEDICIÓN DE LOS PARÁMETROS UTILIZADOS.....	29
2.3. ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN DE AGUA (ICO'S).....	30
2.3.1. Índice de contaminación por mineralización ICOMI.....	30
2.3.2. Índice de contaminación por Materia Orgánica ICOMO.....	31

2.3.3. Índice de contaminación por Sólidos Suspendidos ICOSUS.....	32
2.3.4. Índice de contaminación por pH ICOpH.....	32
2.4. HERRAMIENTA UTILIZADA EN EL CÁLCULO DE LOS ICO'S.....	33
2.5. GESTIONES PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL RIO, TENIENDO EN CUENTA LOS RESULTADOS OBTENIDOS SEGÚN LOS INDICES DE CONTAMINACIÓN (ICO'S)	33
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	34
3.1. ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN POR MINERALES (ICOMI).....	34
3.2. ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN POR MATERIA ORGANICA (ICOMO).....	36
3.3. ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN SOLIDOS SUSPENDIDOS (ICOSUS).....	38
3.4. ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN pH (ICOpH).....	39
3.5. PROMEDIO ANUAL DE LOS ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA (RÍO FRÍO) 2011-2012.....	40
3.6. ALTERNATIVAS DE MEJORA.....	41
4. CONCLUSIONES.....	43
5. RECOMENDACIÓN.....	44
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	45
BIBLIOGRAFÍA.....	48
ANEXOS.....	51

LISTA DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Reglamentación relacionada con los lineamientos para el manejo del recurso hídrico	26
Tabla 2. Valores máximos permitidos para Aguas Residuales (AR).....	27
Tabla 3. Puntos de monitoreo de la red hidrobiológica de la CDMB en el río frío.....	29
Tabla 4. Análisis desarrollados y el método empleado para parámetros estudiados	31
Tabla 5. Nivel de calidad de las fuentes (ICO's).....	33
Tabla 6. Índice de Contaminación por Minerales (ICOMI).....	36
Tabla 7. Índice de Contaminación por Materia Orgánica (ICOMO).....	37
Tabla 8. Índice de Contaminación por Solidos Suspendidos (ICOSUS).....	39
Tabla 9. Índice de Contaminación por pH.....	40

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Metodología general para el trabajo de grado.....	28
Figura 2. Puntos de monitoreo, microcuenca Río Frío.....	29
Figura 3. Históricos de los índices de contaminación de los años 2011- 2012.	41

LISTA DE ANEXOS

Página

ANEXO A. Parámetros de campo tomados en la fuente hídrica receptora río frío en el punto RF-P.....	51
ANEXO B. Parámetros de campo tomados en la fuente hídrica receptora río frío en el punto RF-B.....	51
ANEXO C. Parámetros de campo tomados en la fuente hídrica receptora río frío en el punto RF-1A	52
ANEXO D. Parámetros de campo tomados en el afluente de la planta de tratamiento de aguas residuales Río Frío.....	52
ANEXO E. Parámetros de campo tomados en el efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales Río Frío.....	53
ANEXO F. Calidad de vertimiento de residuo líquido.....	53
ANEXO G. Requerimientos para conservación y almacenamiento de muestras de agua	53
ANEXO H. Históricos de los índices de contaminación.....	55
ANEXO I. Pasos para el cálculo de ICO con el Software EE.....	55
ANEXO J. Pasos para el cálculo de ICO con el Software EES.....	56
ANEXO K. Pasos para el cálculo de ICO con el Software EES.....	56
ANEXO L. Pasos para el cálculo de ICO con el Software EES.....	57
ANEXO M. Sistema de tratamiento de aguas residuales PTAR río Frío.....	57

GLOSARIO

Las definiciones de los términos que se emplearan a lo largo de este trabajo, son las comúnmente aceptadas según el marco legal (Decreto 3930 del 2010) actualmente vigente y el Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento Básico (RAS 2000)

<i>Afluente</i>	Agua residual u otro líquido que ingrese a un reservorio, o algún proceso de tratamiento.
<i>Efluente</i>	Líquido que sale de un proceso de tratamiento.
<i>Aguas residuales(AR)</i>	Agua que contiene material disuelto y en suspensión, luego de ser usada por una comunidad o industria.
<i>Aguas servidas</i>	Aguas de desecho provenientes de lavamanos, tinas de baño, duchas, lavaplatos, y otros artefactos que no descargan materias fecales.
Sólidos Suspendidos (SS)	Refleja una condición distinta a los sólidos disueltos. Causa reducción de la penetración de luz, impidiendo la fotosíntesis.
<i>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)</i>	Cantidad de oxígeno usado en la estabilización de la materia orgánica carbonácea y nitrogenada por acción de los microorganismos en condiciones de tiempo y temperatura especificados (generalmente cinco días y 20 °C). Mide indirectamente el contenido de materia orgánica biodegradable.

Dureza	Es la cantidad de sales de elementos alcalino-térreos (berilio, magnesio, calcio, estroncio, bario y radio) presentes en el agua y que normalmente se asocian con la formación de incrustaciones calcáreas. Si bien el concepto de dureza incluye diversos elementos, en la práctica, la dureza de un agua considera únicamente a la cantidad de calcio y magnesio existentes.
Alcalinidad	Capacidad del agua para neutralizar ácidos o aceptar protones. Esta representa la suma de las bases que pueden ser tituladas en una muestra de agua.
Conductividad	Refleja la mineralización de las aguas (sólidos disueltos) y conjuga los cationes sodio, potasio, calcio, magnesio, así como los aniones carbonatos, bicarbonatos, sulfatos y cloruros, principalmente.
pH	Es un indicador de la acidez de una sustancia. Está determinado por el número de iones libres de hidrógeno (H^+) en una sustancia.
Coliformes totales(CT)	Es un grupo de especies bacterianas que tienen ciertas características bioquímicas en común e importancia relevante como indicadores de contaminación del agua y los alimentos.

% de Oxígeno (O%)	Cantidad de oxígeno que está disuelta en el agua. Es un indicador de cómo está contaminada el agua o de lo bien que puede dar soporte esta agua a la vida vegetal y animal.
Índices de contaminación (ICO'S)	Índice empleado para cuantificar la calidad del agua; los más representativos son: ICOMI, ICOMO, ICOSUS, ICOpH. Cada uno de los índices toman valores en un rango de 0 a 1; índices próximos a cero (0) reflejan muy baja contaminación por mineralización e índices cercanos a uno (1), lo contrario.
ICOMI	Es el Índice de Contaminación por Minerales. Se calcula promediando los valores de los índices relacionados con conductividad, dureza y alcalinidad.
ICOMO	Es el Índice de Contaminación por Materia Orgánica, Se calcula promediando los valores de los índices relacionados con DBO, Coliformes totales, % Oxígeno.
ICOSUS	Es el Índice de Contaminación por Sólidos Suspendidos, se determina tan solo mediante la concentración de sólidos suspendidos,
ICOpH	Es el Índice de Contaminación por potencial de hidrógeno, se determina empleando el valor del pH total.
AAR	Autoridades Ambientales Regionales: Corporaciones Autónomas Regionales, Corporaciones para el Desarrollo Sostenible y Autoridades Ambientales de los Grandes Centros Urbanos.
Aguas servidas	Aguas de desecho provenientes de lavamanos, tinas de

baño, duchas, lavaplatos, y otros artefactos que no descargan materias fecales.

Ambiente anóxico Ambiente bioquímico en el cual no existe oxígeno molecular pero existe oxígeno en forma combinada como nitratos y nitritos.

Laguna facultativa Laguna de coloración verdosa cuyo contenido de oxígeno varía de acuerdo con la profundidad y hora del día. En el estrato superior de una laguna facultativa primaria existe una simbiosis entre algas y bacterias; mientras que en los estratos inferiores se produce una biodegradación anaerobia de los sólidos sedimentables.

Muestra puntual Muestra de agua residual tomada al azar en un momento determinado para su análisis. Algunos parámetros deben determinarse *in situ* y otros en el laboratorio.

RAS Reglamento técnico de agua potable y saneamiento.

NTC Norma técnica colombiana, referencia alguna norma utilizada para realizar algún procedimiento estandarizado.

Número Más Probable (NMP) es una estrategia eficiente de estimación de densidades poblacionales especialmente cuando una evaluación cuantitativa de células individuales no es factible

RESUMEN

TÍTULO: DIAGNOSTICO Y EVALUACION DE LA CALIDAD DE AGUA EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PTAR DE RIO FRIO*

AUTOR: NORISABEL HIGUERA ZAPATA**.

PALABRAS CLAVE: Agua para consumo humano, Tratamiento de aguas residuales, Índice de contaminación, Nivel de contaminación, IRCA.

DESCRIPCIÓN:

El nacimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales PTAR Río Frío de Bucaramanga ocurrió en el año 1990. La Planta está localizada al sur oriente de la meseta de Bucaramanga, kilómetro 5 del Anillo Vial. Tiene un sistema de tratamiento conformado por tres etapas las cuales se encargan de tratar las aguas de desecho generadas en Floridablanca y zona sur de Bucaramanga para mejorar la calidad del agua vertida al río.

La operación, mantenimiento y ampliación de la planta son administrados y operados por la Corporación para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB). Para evaluar la eficiencia de todas las etapas del proceso dentro de la planta, la CDMB contrata corporaciones para realizar semestralmente monitoreos en los puntos establecidos.

De esta forma, el objetivo de este trabajo es: Evaluar la calidad de los vertimientos de las aguas residuales tratadas por la PTAR y el impacto que estas están generando al ser vertidas al río Frío de acuerdo con lo establecido en el decreto 1594/84. Este se realiza por medio de la implementación del método de índices de contaminación, propuesto por la CDMB y Ramírez *et al.*, el cual está conformado por cuatro indicadores a que son complementarios en sentido ecológico; ICOMI, ICOMO, ICOSUS e ICOpH. El resultado de cada índice de contaminación demostró alta contaminación del efluente de la PTAR Río Frío.

Los resultados del efluente de la PTAR Río Frío son considerablemente altos comparados con los valores del punto ubicado aguas arriba de la planta. Con excepción del ICOMI, la planta mantiene los valores de contaminación en órdenes de magnitud comparables a los que tenía el río originalmente.

* Práctica empresarial

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas, Escuela de Ingeniería Química, Director Luis Javier López Giraldo. Co-Director: Ing. Juan Agustín Gualdrón Rueda, Corporación de Tecnologías Ambientales Sostenibles, CTAS.

ABSTRACT

TITLE: DIAGNOSIS AND EVALUATION OF WATER QUALITY IN THE WASTEWATER TREATMENT PLANT PTAR OF RIO FRIO *

AUTHOR: NORISABEL HIGUERA ZAPATA** .

KEYWORDS: Water for human consumption, waste water treatment, pollution index, level of contamination, IRCA.

DESCRIPTION:

The birth of the plant wastewater treatment PTAR Río Frio of Bucaramanga occurred in 1990. The Plant is located south Eastern of the plateau Bucaramanga, 5 kilometer Ring Road. It has a treatment system consists of three stages which are responsible for treating wastewater generated in southern Bucaramanga and Floridablanca area to improve the quality of water discharged into the river .

The operation, maintenance and expansion of the plant are managed and operated by the Corporation for the Defense of the plateau of Bucaramanga (CMDDB). To evaluate the efficiency of all stages of the process within the plant, the corporations hired CDMB monitoring for six months at the points provided..

Thus, the aim of this work is to evaluate the quality of treated wastewater discharges by PTAR and the impact that is caused to the Frio River in accordance with the provisions of Decree 1594/84. The above is done through the implementation of the technique called pollution index method proposed by Ramirez et and CDMB, which consists of four indicators that are complementary in ecological sense ICOMI, ICOMO, ICOSUS and ICOpH. El resultado de cada indicador demostró alta contaminación del efluente de la PTAR Río Frio.

The results of the effluent PTAR Rio Frio are considerably high compared with the values of the point located upstream of the plant. With the exception of ICOMI, the plant maintains the values of contamination by orders of magnitude comparable to that originally had the river.

* In Field Practice.

** Faculty of Physical and Chemical Engineering. Chemical Engineering Department. Director: Luis Javier López Giraldo. Co-Director: Ing. Juan Agustín Gualdrón Rueda, Sustainable Environmental Technologies Corporation, CTAS.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento incontrolado de la población y de la industrialización, conlleva a una sobre saturación de las sustancias tóxicas que el agua normalmente puede neutralizar, de tal forma que la calidad del agua se ve afectada, produciendo una contaminación descontrolada derivada del vertido de residuos producidos por las zonas urbanas, rurales e industriales.

Colombia ha estado familiarizada con el control de la contaminación hídrica, y ha adelantado a nivel nacional diferentes proyectos para reducir los impactos ambientales. Actualmente se han evaluado diferentes alternativas financieras, normativas y técnicas, para gestionar soluciones razonables a mediano y largo plazo. El municipio de Bucaramanga, cuenta con la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) del Río Frío, ubicada en el kilómetro 6 del anillo vial Girón. La operación, mantenimiento y ampliación se analiza según lo establecido en el Plan de Manejo Ambiental presentado por la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB), y establecido por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) mediante la Resolución 352 del 24 de abril de 2002. [1]

Para evaluar la calidad del agua del Río Frío, la CDMB establece un programa de monitoreo el cual comprende:

- Muestreo: El grupo operativo, realiza la toma de muestra la cual consiste en el desplazamiento, muestreo, preservación, transporte y análisis de las muestras, en cada jornada de monitoreo.

- Análisis de Laboratorio: El laboratorio recibe las muestras y realiza los análisis respectivos.
- Análisis de Información: La información obtenida en campo y los resultados del laboratorio son consolidados y procesados para reportar el grado de contaminación del agua.

El programa se desarrolla en tres puntos comprendidos en el tramo: El Pórtico-Caneyes del Río Frío.

La Planta de tratamiento de agua PTAR Río Frío tiene un sistema de tratamiento conformado por tres etapas las cuales se encargan de tratar las aguas de desecho generadas en Floridablanca y zona sur de Bucaramanga.

La primera fase del sistema de tratamiento de aguas residuales de la PTAR – Río Frío se construyó entre 1990 y 1991 e inició operaciones en 1991. La segunda fase se construyó en 1994. En el año 2005 se construyó el reactor UASB No. 4 con el cual se alcanzaría una capacidad de tratamiento de 0,7 m³/s.

En el año 2005 la CDMB formuló un proyecto para adecuar, optimizar y modificar el sistema existente y vincular nuevas tecnologías que permitan la valoración y control de las emisiones de biogás asociadas con la operación de la PTAR. El biogás producido en los reactores anaerobios tiene un alto contenido de metano que se aprovechará para generar energía eléctrica, reduciendo el aporte de gases a la atmósfera que contribuyen al efecto invernadero, y obtener otros beneficios entre los que se destacan: incremento en la capacidad de tratamiento de la planta, reducción de malos olores, modificación del tratamiento secundario de las aguas residuales, tecnificación del secado de lodos [2]

Con el fin de verificar la eficiencia de las medidas adoptadas se recomienda establecer un programa de monitoreo que incluya toma de muestras, análisis de laboratorio y evaluación de resultados. Con ese fin se encargó a la Corporación de Tecnologías Ambientales Sostenibles (CTAS), realizar el monitoreo de la calidad del agua de la fuente hídrica receptora de los efluentes de la PTAR (Río Frío).

De esta forma, el objetivo general de este trabajo de aplicación fue: evaluar el impacto del tratamiento de la PTAR que sirve a Bucaramanga, sobre las aguas residuales provenientes del Río Frío antes y después de tratamiento de acuerdo con lo establecido en el decreto 1594/ 84 [3]. Para esto se analizarán variables como la carga orgánica, sólidos suspendidos, minerales y pH.

A partir de este objetivo general nacen los siguientes objetivos específicos:

- Desarrollar el programa de monitoreo en los puntos establecidos por la CDMB.
- Evaluar la capacidad de remoción de la PTAR mediante la implementación de la metodología de Índices de Contaminación (ICO'S) y determinar el nivel de calidad de las aguas tratadas.
- Analizar el comportamiento histórico de la PTAR y proponer alternativas de mejora.

1. MARCO CONCEPTUAL

1.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) Río Frío está localizada al sur oriente de la meseta de Bucaramanga, kilómetro 5 del Anillo Vial en la vía que comunica los municipios de Floridablanca y Girón; esta central de tratamiento se encarga de tratar las aguas residuales domésticas generadas en Floridablanca y la zona sur de Bucaramanga.

1.2. TIPO DE TRATAMIENTO QUE IMPLEMENTA LA EMPRESA

El sistema de la PTAR Río Frío está conformado por el tratamiento preliminar, primario y secundario ver Anexo M. Constituidos por las unidades que se describen a continuación [2] y [4]:

- ***Tratamiento preliminar***

El primer paso en el tratamiento del agua que ingresa a la PTAR se encuentra constituido por 3 unidades:

- Rejillado grueso: Rejilla de 6 cm.
- Rejillado fino: Rejilla de 5 cm, estas rejillas manejan caudales de 1,7 m³/s.
- Desarenador: Maneja caudales de 0,64 m³/s, se realiza separación por decantación de las arenas presentes en las aguas residuales.

Los dos primeros sistemas de separación retienen todo tipo de residuos sólidos mediante rejillas de 5 cm y 6 mm, mientras que en el desarenador se realiza separación por decantación de las arenas presentes en las aguas residuales [4]

- ***Tratamiento Primario***

En la PTAR el tratamiento primario es de tipo biológico, se emplean una serie de 4 reactores UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) cada uno de 3360 m³ y un tiempo de retención de 6 horas

En este tratamiento se logra una remoción parcial del 73% de la carga orgánica contaminante, la acción enzimática de las bacterias promueve varias reacciones de degradación, siendo la más importante la formación de metano (biogás) como subproducto del proceso.

En ese transcurso las bacterias crecen y se agrupan formando "flocs" que se depositan en la parte inferior del reactor dando lugar al llamado manto de lodos responsable del proceso de biodegradación. Los lodos son extraídos de los reactores UASB por gravedad, mediante una tubería de cuatro pulgadas de diámetro, que conecta los reactores con los lechos de secado, empleando un sistema de salida operado por válvulas. El lodo en exceso es removido semanalmente y depositado en los lechos de secado especial.

Actualmente existen 48 lechos construidos, doce por cada reactor, en un área total aproximadamente de 7500 m², con una capa útil de 0,25 m por 20 m de longitud y 6 m. de ancho [2].

- ***Tratamiento Secundario***

Con el fin de aumentar la remoción de la carga orgánica, el agua se conduce hacia estanques conocidos como “lagunas facultativas” con un tiempo de retención de 30 horas, se complementa la descontaminación por la acción conjunta de microorganismos aerobios a nivel de superficie, anaerobios en el fondo de los estanques y finalmente, en el estrato intermedio con la presencia de bacterias facultativas. Con este tratamiento se logra una remoción adicional que oscila entre 10% a 15% [4].

- ***Manejo de subproductos Gaseosos***

El biogás generado en los reactores UASB, principalmente metano y dióxido de carbono, es extraído de las campanas de los reactores y conducido hacia un sistema de quemadores de piso (chimeneas).

- ***Manejo de subproductos sólidos***

El lodo retirado de los reactores UASB es secado por exposición directa al sol durante una semana. Una vez seco, los lodos son sometidos a un proceso de compostaje para ser utilizados como abono orgánico en los programas de reforestación que promueve la CDMB.

Las basuras y desechos retenidos en el cribado son almacenados temporalmente en recipientes provistos de tapa. Estos subproductos tienen como disposición final el relleno sanitario El Carrasco.

Las arenas retenidas en el desarenador son recogidas en volquetas y transportadas al extremo sur occidental del lote de la PTAR, donde son utilizadas, como material de relleno de un terraplén ubicado en la zona cercana a la ronda del río [2].

1.3. BENEFICIOS APORTADOS POR EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES

- El tratamiento de las aguas residuales es realizado con el propósito de mitigar la contaminación física, química, bioquímica y biológica de las fuentes hídricas a las cuales son vertidas. Así mismo, el tratamiento tendrá un impacto directo sobre: Desarrollo normal de la fauna del río y por ende no prolifera fauna nociva.
- Disminución de la carga orgánica, de minerales y sólidos suspendidos, entre otros, lo que aumenta las probabilidades de realizar ecoturismo y la preservación de la fuente hídrica.
- Disminución de la proliferación de IRA (enfermedad respiratoria agua), EDA (enfermedad diarreica aguda) y algunas epidemias.
- Impiden que se agreguen basuras y material sólido al río; disminuyendo la probabilidad de inundaciones ya que el río llevará a cabo el proceso de drenado de manera natural.
- Disminuye malos olores.
- Mantiene las arenas naturales del río sin contaminación.

1.4. *MODELOS EMPLEADOS PARA CUANTIFICAR EFICIENCIA EN EL GRADO DE REMOCIÓN*

Para cuantificar el grado de remoción o eficiencia de las PTARs se han implementado diferentes tipos de modelos entre los que sobresalen los Índices de Contaminación (ICO's). Entre las ventajas de emplear a los ICO's se pueden mencionar que son medidas normalizadas y que emplean parámetros reglamentados según el Decreto 1594 de 1984 [3] para determinar la calidad y el grado de contaminación de una fuente hídrica.

Los índices de contaminación (ICO) son propuestos a partir de estudios limnológicos, realizados por la industria petrolera en Colombia [5]. Para su desarrollo se apoyaron en legislaciones de diversos países, basándose en las concentraciones de las distintas variables y los usos potenciales de las aguas. Explícitamente, los ICO's son una correlación matemática en la que se relacionan ocho variables que determinan el grado de contaminación del agua; estas variables son: la conductividad, la dureza, la alcalinidad, el oxígeno disuelto, la demanda bioquímica de oxígeno, los coliformes totales, los sólidos suspendidos y el pH. Las variables enunciadas son agrupadas para determinar los siguientes índices de contaminación: ICOMI o de mineralización, ICOMO o de contaminación orgánica, ICOSUS relativo a los sólidos suspendidos, ICOTRO o trofia del sistema e ICOPH que cuantifica el grado de acidez del sistema. Mediante esta herramienta de fácil ajuste se puede determinar el grado de contaminación en cada punto de monitoreo de la fuente y a su vez puntualizar el tipo de problema ambiental en cada caso [5].

1.5. REGLAMENTACIÓN Y LEYES QUE APLICAN

Normatividad de los vertimientos: caso PTAR río Frío

La planta de tratamiento de aguas residuales cumple con lo establecido en el artículo 72 del Decreto 1594 de 1984 [3], en el cual se contemplan las normas de descarga de aguas servidas hacia fuentes hídricas. La planta tiene un sistema de tratamiento que cumple con esta norma, el cual tiene un porcentaje promedio de remoción de 84% en cuanto a DQO, DBO y SST. (Ver Anexo F)

Tabla 1. Reglamentación relacionada con los lineamientos para el manejo del recurso hídrico

Reglamentación	Descripción
Decreto 1594/84 [3]	En cuanto a aguas residuales, define los límites de vertimiento de las sustancias de interés sanitario y ambiental, permisos de vertimientos, tasas retributivas, métodos de análisis de laboratorio y estudios de impacto ambiental. (ver tabla 2)
Decreto 1575 de 2007 [7]	Control de la calidad del agua para consumo humano, valores máximos permitidos según RES. 2115 DE 2007. (ver tabla 2)
Decreto 3930 de 2010 [8]	Por el cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a sistemas de alcantarillado público. Además este decreto se encarga de ajustar, organizar y derogar los artículos previstos en el decreto 1594/84, salvo el artículo 20 que trae la lista de las sustancias que son consideradas de interés sanitario y el artículo 21 el cual define quien es un usuario de interés sanitario, estableciendo que es aquel en cuyos vertimientos se puede encontrar alguna de las sustancias listadas en el artículo 20.
RAS 2000 [9]	Documento técnico que tiene en cuenta los procesos involucrados en la conceptualización, diseño, construcción, supervisión técnica, puesta en marcha, operación y mantenimiento de sistemas de tratamiento de aguas residuales.
Ley 9 de 1979 (Código Sanitario Nacional) [10]	Establece los procedimientos y las medidas para llevar a cabo la regulación y control de los vertimientos.

Además de cumplir con los porcentajes de remoción exigidos por la ley, todas las PTAR's están regidas bajo un marco normativo, en cuanto al manejo del recurso hídrico y los vertimientos de las aguas tratadas. En materia de descontaminación, el CONPES 3177 de 2002 [6] define las acciones y lineamientos para el sector salud y saneamiento básico. En las tablas 1 y 2 se resumen respectivamente, los lineamientos más sobresalientes y los máximos permisibles de sustancias contaminantes en aguas residuales. Tabla 1. Reglamentación relacionada con los lineamientos para el manejo del recurso hídrico

Tabla 2. Valores máximos permitidos para Aguas Residuales (AR).

PARAMETROS	UNIDADES	DECRETO 1594 DE 1984 [3]	DECRETO 1575 DE 2007/ RES. 2115 DE 2007 [7]	PARAMETROS	UNIDADES	DECRETO 1594 DE 1984 [3]	DECRETO 1575 DE 2007/ RES. 2115 DE 2007 [7]
DBO	mg O ₂ /L	R>80%	*	Dureza	mg CaCO ₃ / L	300	300
DQO	mg O ₂ /L	*	*	Alcalinidad total	mg CaCO ₃ / L	200	200
Oxígeno Disuelto	mg/L	*	*	cloruros	mg/kg	250	250
pH	Unidades de pH	5 – 9	6,5 – 9,0	Calcio	mg/kg	60	60
Temperatura	°C	< 40°C	*	Magnesio	mg/kg	36	36
Conductividad	µS /cm	*	1000	Coliformes Totales	NMP/100mL	20 000	0
Sólidos Suspendidos	mg/L	R>80%	*	Coliformes Fecales	NMP/100mL	2000	0
Sólidos Totales	mg/L	*	*	Salmonella	M.O./kg	0	0
Grasas y Aceites	mg/L	R>80%	*	Huevos de Helminto	Presencia/Ausencia	0	0
Nitratos	mg NO ₃ ⁻ /L	*	10	Virus Entéricos	Presencia/Ausencia	0	0
Nitritos	mg NO ₂ ⁻ /L	*	0,1	Plomo	mg Pb/L	0,5	0,01
Turbiedad	NTU	*	2	Cobre	mg Cu/L	3,0	1,0
Nitrógeno amoniaco	mg NH ₃ - N/L	*	*	Mercurio	mg Hg/L	0,02	0,001
Nitrógeno Total	mg N/L	*	*	Cromo	mg Cr/L	0,5	0,05
Fosforo total	mg P/L	*	*	Zinc	mg Zn/L	*	*

* La norma no contempla valores

Fuente: [3 Y 7]

2. METODOLOGÍA

Con el fin de cumplir a cabalidad con los objetivos planteados, este trabajo de aplicación fue desarrollado siguiendo los pasos mostrados en la figura 1.

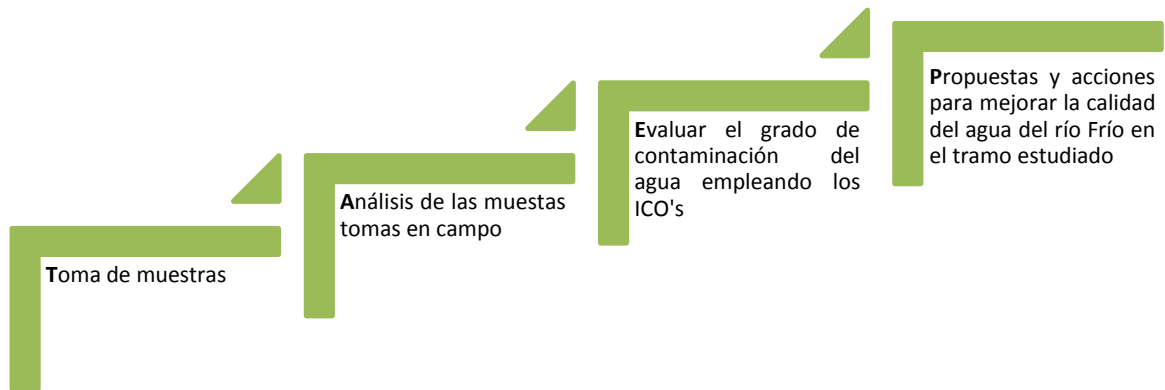


Figura 1. Metodología general para el trabajo de grado

En las secciones siguientes se relacionan y describen cada una de las etapas que se siguieron para evaluar el grado de contaminación del agua antes y después de tratamiento en la PTAR río Frío.

2.1 TOMA DE MUESTRAS

Los muestreos se realizaron en épocas lluviosas (octubre del 2012) en compañía de personal debidamente capacitado perteneciente a la corporación CTAS. Lo anterior es fundamental ya que si no se obtiene una muestra significativa y representativa de los efluentes o cuerpos de agua a ser caracterizados, no es posible obtener resultados válidos que permitan la toma de decisiones oportunas para un buen diagnóstico de las fuentes hídricas receptoras de vertimientos.

2.1.1. PUNTOS DE MONITOREO

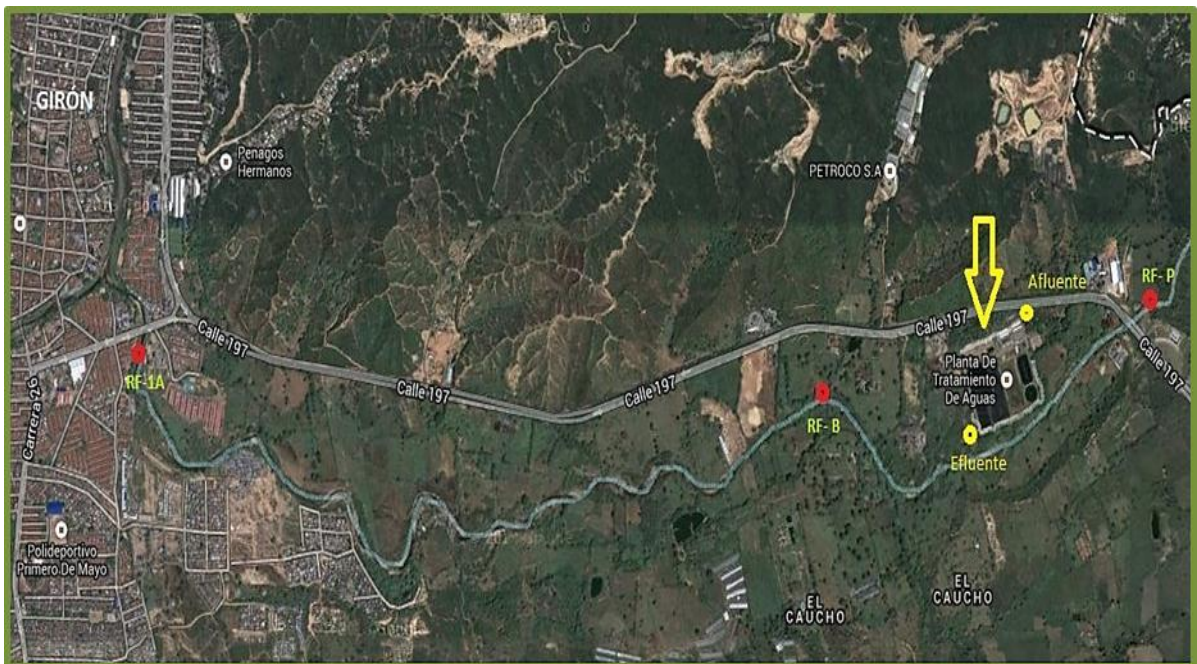
La campaña de monitoreo se realizó en los puntos RF-P, RF-By RF-1A ubicados fuera de la planta de tratamiento de agua residuales, así como en el afluente y efluente de la PTAR. Los puntos seleccionados se describen en la tabla 3 y son representados en la figura 2.

Tabla 3. Puntos de monitoreo, microcuenca Río Frío

PUNTO DE MONITOREO	NOMBRE Y DESCRIPCIÓN DEL PUNTO
RF-P	Río Frío antes del vertimiento. Metros arriba del puente sobre el anillo vial Floridablanca – Girón.
Afluente	Entrada de aguas residuales domésticas antes del sistema de tratamiento.
Efluente	Salida de las aguas residuales domésticas tratadas después de las piscinas de oxidación facultativas.
RF-B	Río Frío después del vertimiento (después de la confluencia de la zona de mezcla del río y el vertimiento). Metros abajo de la PTARD.
RF-1A	Río Frío metros arriba de la confluencia del río frío con el río de Oro en Girón.

Fuente: CDMB [11]

Figura 2. Puntos de monitoreo, microcuenca Río Frío



Fuente: Google maps

2.2. NORMAS EMPLEADAS PARA LA MEDICIÓN DE LOS PARÁMETROS UTILIZADOS

Para la toma y el transporte de las muestras se siguen los procedimientos establecidos por el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS – 2000.

A continuación se describe brevemente algunos procedimientos para realizar los muestreos de calidad de aguas superficiales y calidad de vertimientos. Como primer paso se organizaron las botellas rotuladas con la información de los analitos, la preservación respectiva y nombre del punto de muestreo, fecha y responsable del muestreo, se diligenciaron los formatos con información de la ubicación temporo espacial (nombre de la fuente hídrica, fecha, hora), observación ambiental (soleado, lluvioso) datos de campo y del sector. Con ayuda del geoposicionador y del altímetro se determinó la latitud, longitud y altitud del sitio exacto de punto de monitoreo y se registraron en el formato de toma de datos.

Las muestras tomadas en las botellas debidamente rotuladas fueron preservadas a 4° C en nevera de icopor, en el Anexo G, se describe los requerimientos para conservación y almacenamiento de las muestras; posteriormente, estas últimas fueron enviadas al laboratorio PSL Pro análisis Ltda., encargado de su análisis. Los análisis de caracterización del agua (ver tabla 4), se llevan a cabo bajo la normatividad colombiana NTC ISO/IEC 17025, de acuerdo con los métodos consignados en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater [12]

Tabla 4. Análisis desarrollados y el método empleado para parámetros estudiados

PARAMETRO	UNIDADES	METODO DE ANALISIS
DBO	mg O ₂ /L	S.M. 5210 B
Alcalinidad	mg CaCO ₃ / L	S.M. 2320
Oxígeno Disuelto	mg/L	S.M. 4500-O G
pH	Unidades de pH	S.M. 4500-H ⁺
Temperatura	°C	S.M 2550
Conductividad	μS /cm	S.M. 2510 B
Sólidos Suspendidos	mg/L	S.M. 2540 D
Coliformes Totales	UFC/mL	S.M. 9230 B

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

2.3. ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN DE AGUA (ICO'S)

La determinación del grado de contaminación de la fuente se realizó empleando los índices de contaminación (*ICO's*). El procedimiento metodológico para las formulaciones de los índices correspondió a la descrita por Ramírez et al. [5]

A continuación se describe brevemente la forma de calcular los índices:

2.3.1. Índice de contaminación por mineralización ICOMI

$$\text{ICOMI} = 1/3 * (I_C + I_D + I_A)$$

Para calcular I_C , I_D y I_A tenemos que:

$$\checkmark \log(I_C) = -3,26 + 1,34 * \log C$$

Donde C es la conductividad expresada en ($\mu\text{s/cm}$)

Para conductividades mayores a 270 ($\mu\text{s/cm}$), $I_C = 1$.

✓ $\log(I_D) = -9,09 + 4,40 * \log D$

Donde D es la dureza expresada en (mg/L)

Para durezas mayores a 110 mg/L tienen un $I_D = 1$; Durezas menores a 30 mg/L tienen un $I_D = 0$

✓ $I_A = -0,25 + 0,005 * A$

Donde A es la alcalinidad expresada en (mg/L)

Para alcalinidades mayores a 250 mg/L tiene un $I_A = 1$; Alcalinidades menores a 50 mg/L tiene un $I_A = 0$

Las variables involucradas en este índice son de gran importancia. En efecto: la conductividad refleja el conjunto de sólidos disueltos (iones), la dureza recoge los cationes de calcio y magnesio, y la alcalinidad hace lo propio con los aniones carbonates y bicarbonatos.

2.3.2. Índice de contaminación por Materia Orgánica ICOMO

$$\text{ICOMO} = 1/3 * (I_{DBO} + I_{CT} + I_{O\%})$$

Para el cálculo de I_{DBO} , I_{CT} e $I_{O\%}$ tenemos que:

✓ $I_{DBO} = -0,05 + 0,70 * \log(DBO)$

Donde DBO es la demanda bioquímica de oxígeno expresada en (mg/L)

Para $DBO > 30$ mg/L tienen un $I_{DBO} = 1$; $DBO < 2$ mg/L se tiene $I_{DBO} = 0$

✓ $I_{CT} = -1,44 + 0,56 \log(CT)$

Donde CT son los coliformes totales expresado en (NMP/100mL)

Para Coliformes Totales > 20.000 (NMP/100mL) tienen $I_{CT} = 1$;

Coliformes Totales < 500 (NMP/100mL) tienen $I_{CT} = 0$

✓ $I_{O\%} = 1 - 0,01O\%$

Para %Oxígeno > 100 tienen un índice de oxígeno de 0

En este índice Ramírez et al. [5] reúnen diferentes variables fisicoquímicas (DBO, CT y O₂); las cuales en conjunto cuantifican efectos distintos causados por la contaminación orgánica.

2.3.3. Índice de contaminación por Sólidos Suspendidos ICOSUS

$$\text{ICOSUS} = -0,02 + 0,003 * \text{SST}$$

Donde SST son los sólidos suspendidos totales expresados en (mg/L)
Sólidos suspendidos >340 mg/L tienen ICOSUS = 1

Sólidos suspendidos <10 mg/L tienen ICOSUS = 0

2.3.4. Índice de contaminación por pH ICOpH

$$\text{ICOpH} = \frac{e^{-31,8+(3,45*\text{pH})}}{1+e^{-31,8+(3,45*\text{pH})}}$$

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 ICOpH.

En la Tabla 5 se presenta la relación de estos índices y el grado de contaminación.

Tabla 5. Nivel de calidad de las fuentes (ICO's)

ICO's	NIVEL CALIDAD FUENTE
0- 0,2	Aceptable
>0,2 – 0,4	Baja
>0,4 – 0,6	Regular
>0,6 – 0,8	Deficiente
>0,8 - 1	Muy Deficiente

Fuente: Limnología Colombiana [5]

2.4. HERRAMIENTA UTILIZADA EN EL CÁLCULO DE LOS ICO´S

Para la evaluación de los cuatro índices de contaminación en cada punto de monitoreo, se implementó la prueba por un mes del software *Engineering Equation Solver*, este es un paquete comercial fácil de manejar. [13] y [14]

Primero se registraron las ecuaciones necesarias para el cálculo de cada indicador, el segundo paso fue registrar los parámetros de cada punto necesarios para el cálculo de los índices (Ver Anexo I al L) así también; los valores de cada índice obtenidos con el programa EES (ICO´S) están en las tablas 6, 7, 8 y 9. Los resultados de los parámetros tomados en campo pueden ser observados en los anexos A al E.

2.5. GESTIONES PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL RIO, TENIENDO EN CUENTA LOS RESULTADOS OBTENIDOS SEGÚN LOS INDICES DE CONTAMINACION (ICO´S)

Una vez calculados los ICO´S se clasificará cada punto de la cuenca según su nivel de contaminación (ver tabla 5). Se realizará el análisis de resultados de cada indicador, seguidamente se identificar los parámetros que influyen directamente al índice de contaminación, y se plantearan sistemas de tratamiento convencionales para cada caso.

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se presenta los resultados de los cuatro índices de contaminación, con sus respectivos parámetros tomados en cada punto de monitoreo (ver Tablas 6 a 9).

3.1. ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN POR MINERALES (ICOMI)

En la tabla 6 se aprecia que aguas arriba de la PTAR, la fuente hídrica cuenta con características que la hacen aceptable desde el punto de vista del índice de contaminación por minerales (RF-P). Sin embargo, a la entrada de la PTAR (Afluente), la situación de la calidad del agua según el ICOMI, es deficiente. Esta situación se presenta ya que en el punto de muestreo (afluente), el río se mezcla con las aguas residuales provenientes del sur de Bucaramanga. Una vez, el agua residual sigue su curso a través de la PTAR se constata que el tratamiento efectuado en esta última disminuye los valores asociados con la conductividad y la dureza, llegando a valores que cumplen con lo establecido en el decreto 1594 de 1984 (efluente). En contraste, el valor de la alcalinidad sufre un ligero aumento haciendo que a la salida de la PTAR el parámetro de alcalinidad no cumpla con el límite permisible de la alcalinidad según lo establecido en el decreto anteriormente mencionado (efluente). En conclusión, la PTAR está aportando una alta contaminación por minerales a esta fuente hídrica y según el ICOMI el agua tiene una calidad muy deficiente a lo largo de su paso por la PTAR.

Tabla 6. Índice de Contaminación por Minerales (ICOMI)

INDICE DE CONTAMINACION POR MINERALES								
PUNTOS	Conductividad ($\mu\text{s/cm}$)	IC	Dureza (mg/L)	ID	Alcalinidad (mg/L)	IA	ICOMI	Contaminación de los puntos
RF-P	113,75	0,3126	71	0,11	50	0	0,14	Acceptable
Afluyente	452	1	240	1	280	1	1	Muy Deficiente
Efluente	178	0,5696	150	1	330	1	0,85	Muy Deficiente
RF-B	357,5	1	76	0,1533	65	0,075	0,40	Bajo
RF-1A	346,25	1	84	0,2381	58,7	0,0435	0,42	Regular

Finalmente, se observa que aguas abajo de la PTAR, el río es capaz de seguir con su proceso de autodepuración (RF-B y RF-1A) que se evidencia en un cambio del ICOMI de muy deficiente a bajo. A pesar de la capacidad auto-depuradora del río, se hace evidente que es necesario aumentar la eficiencia de la PTAR con el fin de que el río alcance valores de ICOMI aceptables, tal y como se encontraba antes de su paso por los vertimientos de aguas residuales de la ciudad de Bucaramanga. Como se evidencia en la Tabla 6, el mayor aporte en el grado de contaminación por minerales, antes (RF-P) y después de pasar por la PTAR – río Frío (RF-1A), está asociado con el incremento de la conductividad en un 68%, la cual es una medida directa del aumento de material disuelto. Con el fin de corregir esta situación, se sugiere que el sistema de tratamiento sea más eficaz en cuanto a la reducción de la alcalinidad y dureza excesiva del agua, para poder reducir el impacto ambiental por minerales y el río pueda aumentar su capacidad de autodepuración. Se consigue reducir añadiendo cal débil o hidratada, en caso que la PTAR ya tenga implementada esta técnica, otras posibles alternativas serian la

implementación de un proceso de intercambio iónico, o la adición de agentes floculantes y precipitantes, antes del filtrado [17].

3.2. ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN POR MATERIA ORGÁNICA (ICOMO)

Según la tabla 7 antes que el río llegue al punto en donde las aguas residuales de Bucaramanga son vertidas, el ICOMO es regular (RF-P).

Tabla 7. Índice de Contaminación por Materia Orgánica (ICOMO)

INDICE DE CONTAMINACION POR MATERIA ORGANICA								
PUNTOS	DBO ₅ mg/L	lDBO	CT (NPM/100mL)	lCT	O%	lO%	ICOMO	Contaminación de los puntos
RF-P	6	0,495	2'050.000	1	108,1	0	0,50	Regular
Afluente	341	1	110*10 ⁶	1	8,3	0,920	0,97	Muy Deficiente
Efluente	35	1	4'600.000	1	57,74	0,422	0,80	Deficiente
RF-B	93	1	2'125.000	1	49,94	0,500	0,83	Muy Deficiente
RF-1A	60	1	2'126.000	1	61,4	0,386	0,79	Deficiente

Sin embargo, a la entrada de la PTAR (Afluente), la situación de la calidad del agua según el ICOMI, es muy deficiente. Esta situación se presenta ya que en el punto de muestreo (afluente), el río se mezcla con las aguas residuales provenientes del sur de Bucaramanga. Una vez, el agua residual sigue su curso a través de la PTAR se comprueba que ésta tiene un potencial de remoción mayor al 80% en la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), cumpliendo con lo establecido en el decreto 1594 de 1984 (efluente). Aunque la planta de tratamiento tiene un buen sistema de remoción de coliformes totales, ésta no cumple con lo

estipulado en la norma de vertimientos. Cabe resaltar que la PTAR tiene un sistema de aireación medianamente bueno.

Según los valores del punto RF-B, el 44% de la sobrecarga contaminante en éste punto se debe a la descarga de materia orgánica e inorgánica dispuesta por la planta; subiendo el indicador ICOMO a 0,942 clasificando así el agua como muy contaminada.

Al comparar los puntos RF-B y RF-1A se observa una disminución del 35% de DBO, un aumento de 10% de la cantidad de oxígeno disuelto y por último, la cantidad de coliformes totales se mantuvo igual. A pesar de la disminución en la DBO, la clasificación según el ICOMO sigue deficiente. Con el fin de corregir esta situación, se sugiere la implementación de reactores con mayor capacidad, y un proceso aerobio conformado por tanques de aireación y decantadores para asegurar una buena purificación. Cabe resaltar que es muy importante la supervisión de cada etapa del proceso de purificación para evitar el paso del agua de entrada al agua de salida, por falta de hermeticidad. [9]

Estos equipos se sugieren con el fin de que el sistema de tratamiento sea más eficaz en cuanto a la reducción de la materia orgánica excesiva en el agua, y así el río pueda aumentar su capacidad de autodepuración aguas debajo de la PTAR río Frío (RF-B y RF-1A).

3.3. ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN POR SÓLIDOS SUSPENDIDOS (ICOSUS)

Según los resultados de la tabla 8 se evidencia claramente que la planta de tratamiento tiene un buen sistema de remoción de sólidos suspendidos cumpliendo con la norma 1594 de 1984, ya que la planta está removiendo un 94% y la norma establece una remoción mayor del 80%.

Tabla 8. Índice de Contaminación por Sólidos Suspendidos (ICOSUS)

ÍNDICE DE CONTAMINACION POR SOLIDOS SUSPENDIDOS			
PUNTOS	SS (mg/L)	ICOSUS	Contaminación de los puntos
RF-P	163,5	0,470	Regular
Afluente	202,0	0,586	Regular
Efluente	11,5	0,015	Aceptable
RF-B	190,0	0,550	Regular
RF-1A	259,0	0,760	Deficiente

Una vez el agua pasa a través de la PTAR, se observa un aumento de los ICOSUS pasando de aceptable a regular y deficiente para los puntos RF-B y RF-1A, respectivamente. El aumento en estos puntos podría deberse a que urbanizaciones e industrias ubicadas en esa zona vierten desechos al río sin realizar un tratamiento previo.

3.4. ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN POR PH (ICOPH)

Según la tabla 9 en ninguno de los puntos de la fuente hídrica se evidencia contaminación por pH. En todos los casos, el ICOPH presenta un comportamiento similar con aguas relativamente neutras. El pH presenta valores dentro de los rangos establecidos por la norma para vertimientos; mayor a 5 y menor de 9 unidades de pH. [8]

Tabla 9. Índice de Contaminación por pH

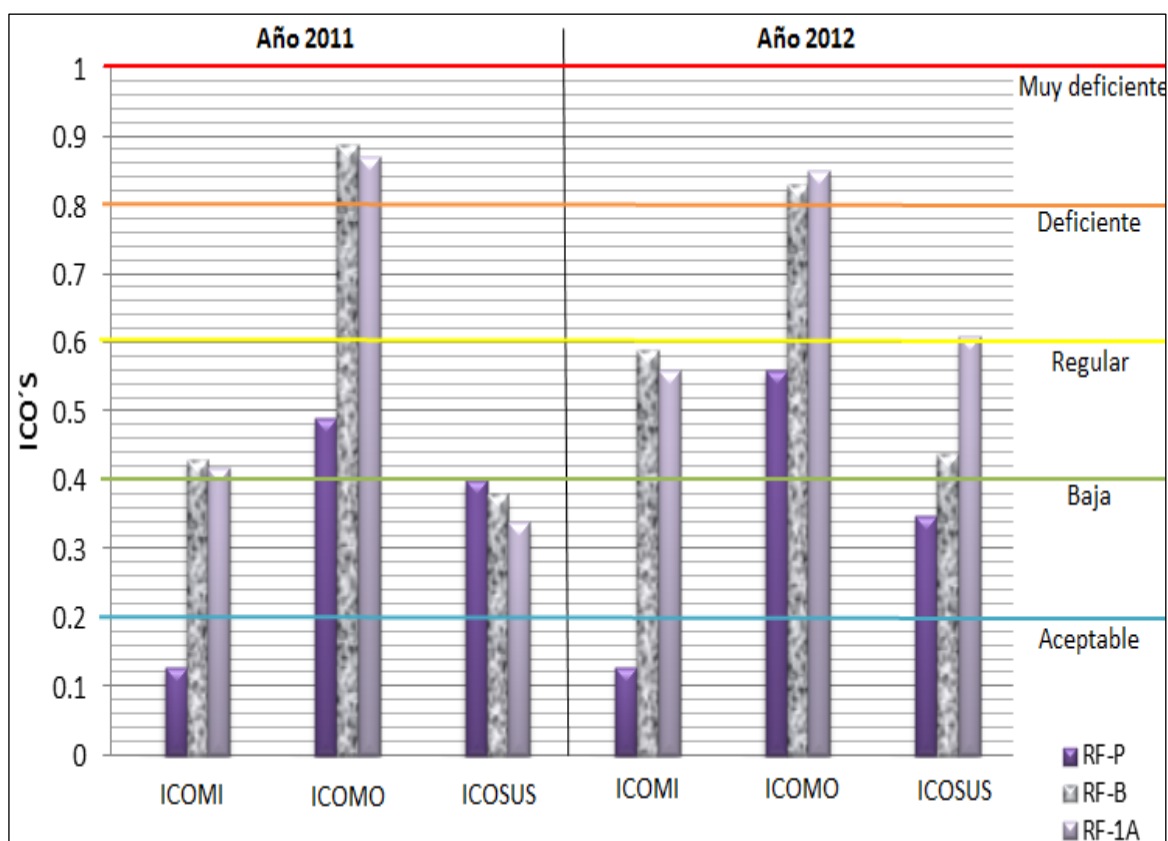
INDICE DE CONTAMINACION POR pH			
PUNTOS	pH	ICOpH	Contaminación de los puntos
RF-P	6,50	0,002665	Aceptable
Afluente	9,00	0,320800	Baja
Efluente	9,00	0,320800	Baja
RF-B	7,25	0,001127	Aceptable
RF-1A	7,33	0,001501	Aceptable

En el afluente y efluente de la PTAR el índice de contaminación por pH es bajo, por lo tanto no se presentan problemas de corrosión, tampoco ocurren inconvenientes en las etapas de neutralización ácido – base, suavizado, precipitación, coagulación y desinfección.

3.5. PROMEDIO ANUAL DE LOS ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA (RÍO FRÍO) 2011-2012

En este capítulo se analizará el comportamiento de los índices de contaminación en el tramo RF-P, RF-B y RF-1A del río Frío. En la figura 3 (ver anexo H) se observa la evolución de los índices de contaminación ICOMI, ICOMO e ICOSUS en los últimos dos últimos años. No fue necesario realizar el promedio de ICOPH ya que este indicador siempre se ha mantenido muy estable en el trayecto del río.

Figura 3. Históricos de los índices de contaminación de los años 2011- 2012.



Fuente: CDMB 2012 [11]

En la figura se aprecia claramente que en el período de tiempo evaluado, el índice de contaminación por materia orgánica ICOMO, fluctuó entre 0,48 y 0,88 para

todos los puntos considerados. Particularmente, los puntos RF-B y RF-1A presenta características de muy deficientes para los años considerados. Mientras que el punto RF-P tiene un comportamiento regular.

En lo que respecta a la tendencia observada para el ICOMI, sólo el punto RF-P mostró tener características aceptables para los años evaluados. Por otro lado, el ICOMI de los puntos RF-B y RF-1A pasaron de presentar una contaminación baja en el año 2011 a regular en el año 2012. Una tendencia similar fue observada para el ICOSUS, en este caso la característica de contaminación pasó de ser baja a regular entre el 2011 y el 2012. Mientras que el punto RF-P en ambos indicadores muestra un comportamiento aceptable.

Es evidente que la planta de tratamiento no posee el control necesario para detener el aumento de contaminación aguas abajo de la PTAR (RF-B, RF-1A), esta situación se ve reflejada en la baja capacidad de autodepuración de la fuente hídrica y por lo tanto en esos puntos no son las mismas condiciones con las que venía anteriormente el río.

3.6. ALTERNATIVAS DE MEJORA

Como aporte para mejorar la problemática mencionada anteriormente, en cada índice de contaminación evaluados en este trabajo se sugirió implementar ciertos equipos con el fin de disminuir la alta contaminación presentada por minerales y materia orgánica después del sistema de tratamiento de las aguas residuales de la ciudad de Bucaramanga.

Con el objetivo de controlar la contaminación es necesario que a partir de este estudio se realice otro que identifique los factores influyentes en cada una de las

etapas para aumentar la capacidad de cada equipo implementado en la planta de tratamiento. También es necesario realizar actividades por parte de las entidades ambientales, donde se gestione la descontaminación aguas arriba y aguas abajo de la PTAR río Frío.

Además, para el caso de índice de contaminación por minerales sería una gran ventaja implementar un tratamiento terciario en la planta con el objetivo de mejorar la calidad del efluente que abandona la etapa de tratamiento secundario; como ejemplo podría ser un Intercambio iónico para la eliminación de dureza en el tratamiento de aguas y para la remoción de metales tóxicos o recuperación de metales preciosos en el tratamiento de efluentes líquidos. Existe una gran cantidad de sustancias naturales aptas para el intercambio de iones, aunque en la actualidad se ha desarrollado una amplia variedad de medios sintéticos, tales como las resinas, que son altamente específicos para algunos iones y que presentan elevada eficiencia de remoción [16].

4. CONCLUSIONES

Según los resultados obtenidos con la metodología de los índices de contaminación (ICO'S), se comprobó que la PTAR río Frío, tiene un tratamiento eficiente en cuanto a la remoción de sólidos suspendidos, coliformes totales, DBO. También una buena aireación en el tratamiento de las aguas contaminadas.

Los resultados evidencian que los índices de contaminación del efluente de la PTAR Río Frío son considerablemente altos comparados con los valores del punto RF-P. Al confrontar los valores de los parámetros del efluente con los del afluente a la PTAR, se observó que la disminución en la contaminación es notable ya que los valores de cada parámetro estudiado disminuyen en varios órdenes de magnitud excepto la alcalinidad. Con excepción del ICOMI, la planta mantiene los valores de contaminación en órdenes de magnitud comparables a los que tenía el río originalmente.

Se confirmó que los ICO's son una herramienta que brinda claridad en la caracterización del grado de contaminación del agua. Además, podrían ser empleados para la toma de decisiones rápidas que redunden en la calidad del recurso hídrico.

5. RECOMENDACIÓN

Con el objetivo de controlar la contaminación del río Frío, es necesario realizar un estudio de cómo se está contaminando el agua en todo el trayecto del río, determinando la capacidad depurativa de esta fuente hídrica. Se recomienda utilizar el modelo de índices de contaminación ya que es una herramienta fácil de usar, la cual conlleva a resultados más entendibles que permiten una rápida toma de decisiones.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- [1] Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Plan Nacional de Manejo de Aguas Residuales Municipales en Colombia. Bogotá D.C; 2004.
- [2] Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Resolución N. 1959/2009. Bogotá D.C; Octubre 14 de 2009.
- [3] Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Decreto 1594/84. Capítulo IV. Art 37-39. Bogotá D.C; Junio 26 de 1984.
- [4] Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga CDMB. Proyecto de ampliación y modernización de la pta río frío. Bucaramanga. Versión II. Bucaramanga. Disponible en: http://www.cdmb.gov.co/ant_hdocs/web/lacdmdb/paginas/archivos/PTAR%20la%20WEB.pdf. Acceso el 15 de Enero 2014
- [5] Ramírez A, Restrepo R, Cardeñosa M. Índices de contaminación para caracterización de aguas continentales y vertimientos. CT&F. 1999; 1(5): 89-99.
- [6] Consejo Nacional de Política Económica y Social. CONPES. Acciones prioritarias y lineamientos para la formulación del plan de manejo de aguas residuales. Bogotá D.C; 2002.
- [7] Ministerio de la Protección Social. Resolución N. 2115/2007. Capítulo II, art. 2. Capítulo IV, art. 13. Bogotá D.C; Junio 22 de 2007.

[8] Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Decreto 3930 /2010. Bogotá D.C; 25 Octubre de 2010.

[9] Ministerio de Desarrollo Económico. Dirección de agua potable y saneamiento Básico. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento basico. RAS. Sección II; Título E. Bogotá D.C; Noviembre de 2000.

[10] Código Sanitario Nacional. Título I de la protección del medio ambiente. Ley 9 de 1979. Bogotá D.C; Enero 24 de 1979

[11] Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga CDMB. Informe anual de la red de monitoreo de calidad del agua, Bucaramanga, Colombia: Báez Andrea; 2012. p: 26-28.

[12] American Public Health Association, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21th edn. APHA, New York, 2005.

[13] Alperstaedt F, Ganss M, Kehrer O. Engineering equation solver download EES.Update Star.

Disponible en: <http://www.updatestar.com/es/topic/ees%20engineering%20equation%20solver%20download>

[14] Klein S.A. Engineering Equation Solver. Middleton United States; 1992-2000

[15] Gualdrón J A, Rueda G, Bautista J, Ardila E, López H, Rodríguez A, et al. Proyectos EMPAS. Corporación de Tecnologías Ambientales Sostenibles CTAS. Disponible en: <http://corporacionctas.org/p-empas.html>

[16] Planta de tratamiento de líquidos cloacales (Wikipedia). Disponible en:
http://es.wikipedia.org/wiki/Planta_de_tratamiento_de_liquidos_cloacales

[17] Picazo J, Buenrostro H, Illescas C. Tratamiento de Aguas. Disponible en:
<http://www.aprendizaje.com.mx/Curso/Proceso2/aguas.htm>

BIBLIOGRAFÍA

American Public Health Association, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21th edn. APHA, New York, 2005.

Alperstaedt F, Ganss M, Kehrer O. Engineering equation solver download EES.Update Star. Klein S.A. Engineering Equation Solver. Middleton United States; 1992-2000. Disponible en: <http://www.updatestar.com/es/topic/ees%20engineering%20equation%20solver%20download>.

Codigo Sanitario Nacional. Titulo I de la proteccion del medio ambiente. Ley 9 de 1979. Bogotá D.C; Enero 24 de 1979.

Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga CDMB. Proyecto de ampliacion y modernizacion de la ptar río frío. Bucaramanga. Versión II. Bucaramanga. Disponible en: http://www.cdmb.gov.co/ant_htdocs/web/lacdmb/paginas/archivos/PTAR%20Ia%20WEB.pdf. Acceso el 15 de Enero 2014.

Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga CDMB. Informe anual de la red de monitoreo de calidad del agua, Bucaramanga, Colombia: Báez Andrea; 2012. p: 26-28.

Consejo Nacional de Política Económica y Social. CONPES. Acciones prioritarias y lineamientos para la formulación del plan de manejo de aguas residuales. Bogotá D.C; 2002.

Gualdrón J A, Rueda G, Bautista J, Ardila E, López H, Rodríguez A, et al. Proyectos EMPAS. Corporación de Tecnologías Ambientales Sostenibles CTAS. Disponible en: <http://corporacionctas.org/p-empas.html>.

Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Plan Nacional de Manejo de Aguas Residuales Municipales en Colombia. Bogotá D.C; 2004.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Resolución N. 1959/2009. Bogotá D.C; Octubre 14 de 2009.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Decreto 1594/84. Capítulo IV. Art 37-39. Bogotá D.C; Junio 26 de 1984.

Ministerio de la Protección Social. Resolución N. 2115/2007. Capítulo II, art. 2. Capítulo IV, art. 13. Bogotá D.C; Junio 22 de 2007.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Decreto 3930 /2010. Bogotá D.C; 25 Octubre de 2010.

Ministerio de Desarrollo Económico. Dirección de agua potable y saneamiento Básico. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento basico. RAS. Sección II; Título E. Bogotá D.C; Noviembre de 2000.

Planta de tratamiento de líquidos cloacales (Wikipedia). Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Planta_de_tratamiento_de_liquidos_cloacales

Picazo J, Buenrostro H, Illescas C. Tratamiento de Aguas. Disponible en: <http://www.aprendizaje.com.mx/Curso/Proceso2/aguas.htm>.

Ramírez A, Restrepo R, Cardeñosa M. Índices de contaminación para caracterización de aguas continentales y vertimientos. CT&F. 1999; 1(5): 89-99.

ANEXOS

Anexo A. Parámetros de campo tomados en la fuente hídrica receptora río frío en el punto RF-B. Análisis in-situ fuente hídrica receptora Río Frío

Fuente hídrica receptora de los vertimientos Río Frío.			Fecha: 25 de Octubre de 2012			
Punto de muestreo: RF-P						
PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO ANALÍTICO	6:30	12:30	18:30	00:30
PH	Unidad de pH	Cinta indicadora	6	6	7	7
Temperatura	°C	Potenciométrico	20,5	23,6	22,7	22
Conductividad	µs/L	S.M. 2540D	100	123	117	115
Sólidos Disueltos Totales	mg O2/L	S.M. 2540D	51	61	56	58
Oxígeno Disuelto	mg O2/L	S.M. 5210	11,8	9	8,7	8,7
POSICIÓN: N= 07° 04' 00.7"; W= 073° 07' 38"; Altitud = 787msnm						

Fuente: CTAS I15I

Anexo B. Parámetros de campo tomados en la fuente hídrica receptora río frío en el punto RF-B. Análisis in-situ fuente hídrica receptora Río Frío

Fuente hídrica receptora de los vertimientos Río Frío.			Fecha: 25 de Octubre de 2012			
Punto de muestreo: RF-B						
PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO ANALÍTICO	7:30	13:30	19:30	01:30
PH	Unidad de pH	Cinta indicadora	7	7	8	7
Temperatura	°C	Potenciométrico	23	26,8	23,8	22,6
Conductividad	µs/L	S.M. 2540D	372	380	385	293
Sólidos Disueltos Totales	mg O2/L	S.M. 2540D	187	130	193	147
Oxígeno Disuelto	mg O2/L	S.M. 5210	4,4	3,9	5,4	3,3
POSICIÓN: N= 07° 03' 49,9"; W= 073° 08' 11,6"; Altitud = 765msnm						

Fuente: CTAS I15I

Anexo C. Parámetros de campo tomados en la fuente hídrica receptora río frío en el punto RF-1A. Análisis in-situ fuente hídrica receptora Río Frío

Fuente hídrica receptora de los vertimientos Río Frío. Punto de muestreo: RF-1A			Fecha: 25 de Octubre de 2012		
PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO ANALÍTICO	9:00	15:00	22:00
PH	Unidad de pH	Cinta indicadora	7	8	7
Temperatura	°C	Potenciométrico	25,1	24,1	23,6
Conductividad	µs/L	S.M. 2540D	344	345	350
Sólidos Disueltos Totales	mg O ₂ /L	S.M. 2540D	171	172	175
Oxígeno Disuelto	mg O ₂ /L	S.M. 5210	6	5,3	4,6
POSICIÓN: N= 07°03'49,8"; W= 073°10'01,3"; Altitud = 699msnm					

Fuente: CTAS I15I

Anexo D. Parámetros de campo tomados en el afluente de la planta de tratamiento de aguas residuales Río Frío.

Afluente PTAR Río Frío.			Fecha: 29 y 30 de octubre de 2012		
Análisis in-situ Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas Río Frío					
PARÁMETROS					
HORA	pH	TEMPERATURA [°C]	CONDUCTIVIDAD [µS/cm]	TDS [mg/L]	OD [mg/L]
6:30	8	25,5	1154	574	<LD
8:30	8	25,5	1154	574	<LD
10:30	7	26,1	820	418	0,1
12:30	8	27	770	390	1,4
14:30	8	26,3	720	365	0,4
16:30	7	27,2	778	392	<LD
18:30	8	26,5	775	390	<LD
20:30	8	26,1	863	431	<LD
22:30	8	26	853	428	<LD
24:30	8	25,9	888	442	<LD
0:30	7	25,8	816	409	<LD
2:30	8	25,4	894	448	<LD
4:30	8	25,9	279	140	<LD
POSICIÓN: N= 07°03'49,8"; W= 073°10'01,3"; Altitud = 699msnm					

Fuente: CTAS I15I

Anexo E. Parámetros de campo tomado en el efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales Río Frío. Análisis in-situ Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas Río Frío

Efluente PTAR Río Frío.	Fecha: 25 de Octubre de 2012				
	PARÁMETROS				
HORA	pH	TEMPERATURA [°C]	CONDUCTIVIDAD [μS/cm]	TDS [mg/L]	OD [mg/L]
7:00	8	25,5	960	478	4,8
9:00	8	25,5	988	477	4,8
11:00	8	26,9	940	470	4,8
13:00	8	30,3	960	474	4,4
15:00	8	30,8	970	483	4,7
17:00	8	30,6	1006	488	4,7
19:00	8	28,5	987	490	5,0
21:00	8	26,8	994	497	4,8
23:00	8	26,3	985	494	5,1
1:00	7	25,8	977	489	5,0
3:00	8	25,6	969	486	4,9
5:00	8	25,5	983	492	4,4
7:00	8	24,6	987	492	3,3
POSICIÓN: N= 07°03'49,8''; W= 073°10'01,3''; Altitud = 699msnm					

Fuente: CTAS [15]

Anexo F. Calidad de vertimiento de residuo líquido

PARAMETRO	UNIDADES	AFLUENTE	EFLUENTE	REMOCIÓN (%)
pH	Unid. de pH	7.4	7.1	4,06
DQO	mg/L	691	189	72,65
DBO	mg/L	351	47	86
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	296	32	89
Sólidos Suspendidos Volátiles	mg/L	240	28	88,4

Fuente: CDMB

Anexo G. Requerimientos para conservación y almacenamiento de muestras de agua

Parámetro a analizar	Conservación	Máximo almacenamiento Recomendado/ Regulatorio
Alcalinidad total	Refrigeración	24h/14d
Cloruros	No requiere	28d
Color	Refrigeración	48h/48h
Cianuro total	Adicionar NaOH a pH >12, refrigerar en oscuridad	24h/14 d; 24 h si hay sulfuro presente
Dureza	Adicionar HNO ₃ a pH < 2	6 meses/6 meses
Aceites y grasas	Adicionar HCl a pH < 2,0, refrigerar	28d/28d
DBO	Refrigeración	6h/48h
DQO	Analizar tan pronto sea posible, o adicionar H ₂ SO ₄ a pH < 2,0 y refrigerar	7d/28d
Conductividad eléctrica	Refrigeración	28 d/28 d
Metales en general	Para metales disueltos filtrar inmediatamente, adicionar HNO ₃ a pH<2	6 meses/6 meses
Cromo VI	Refrigerar	24h/24h
Mercurio	Adicionar HNO ₃ a pH<2, refrigerar	28 d/28 d
Amonio	Analizar tan pronto como sea posible o adicionar H ₂ SO ₄ a pH<2, refrigerar	7 d/28 d
Nitrato	Analizar tan pronto como sea posible o refrigerar	48 h/48 h
Nitrato + Nitrito	Adicionar H ₂ SO ₄ a pH < 2,0 y refrigerar	1-2d/28d
Nitrito	Analizar tan pronto como sea posible o refrigerar	Ninguno/48 h
Nitrógeno orgánico	Adicionar H ₂ SO ₄ a pH < 2,0 y refrigerar	7 d/28 d
Fenoles	Refrigerar, adicionar H ₂ SO ₄ a pH< 2,0	Preferiblemente refrigerar durante el almacenamiento y analizar tan pronto sea posible /28 días después de la extracción.
Grasas y aceites	Adicionar HCl o H ₂ SO ₄ a pH < 2,0 y refrigerar	28 d/28 d
Oxígeno disuelto, electrodo	Analizar inmediatamente	0,25 h/ 0,25 h
Oxígeno disuelto, winkler	Analizar inmediatamente, puede retrasarse la titulación después de la acidificación	8 h/8h
Coliformes Fecales	Refrigerar, análisis inmediato	24h/48h
Coliformes Totales	Refrigerar, análisis inmediato	24h/48h

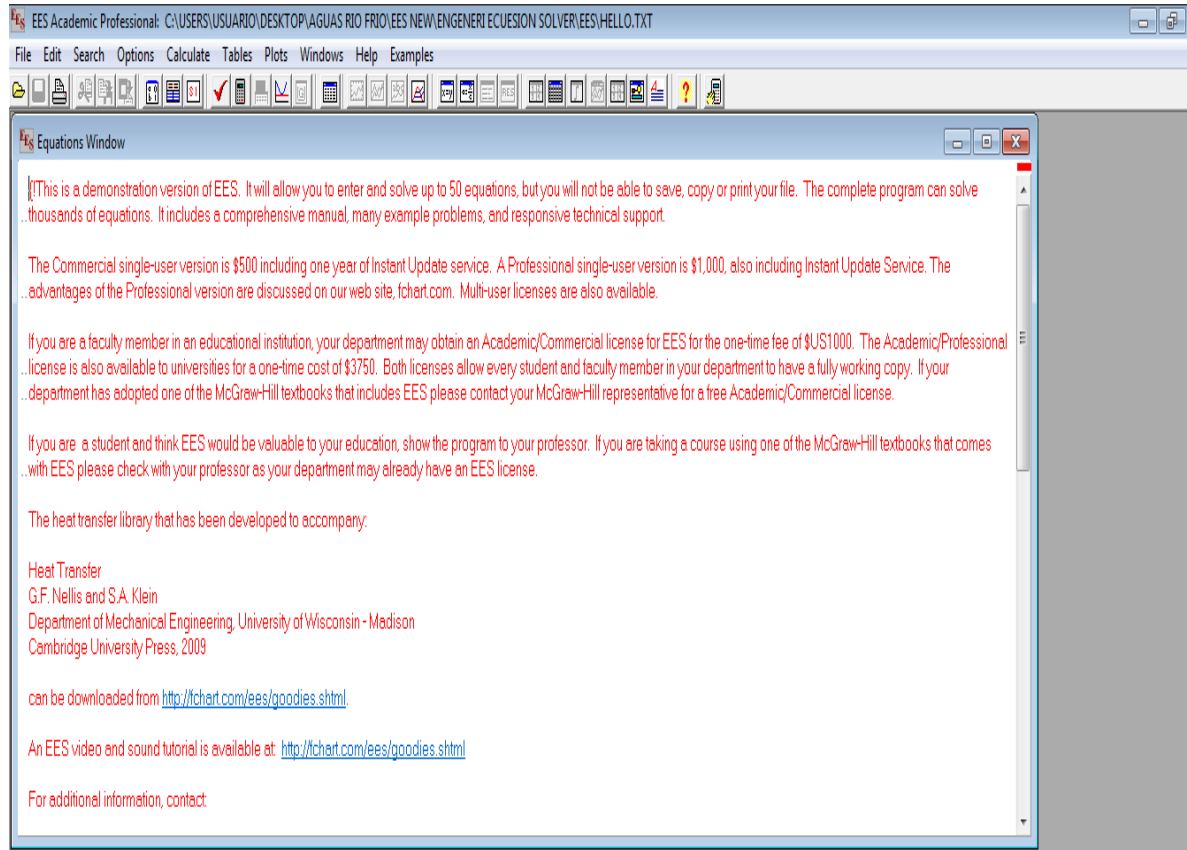
Fuente: CTAS

Anexo H. Históricos de los índices de contaminación

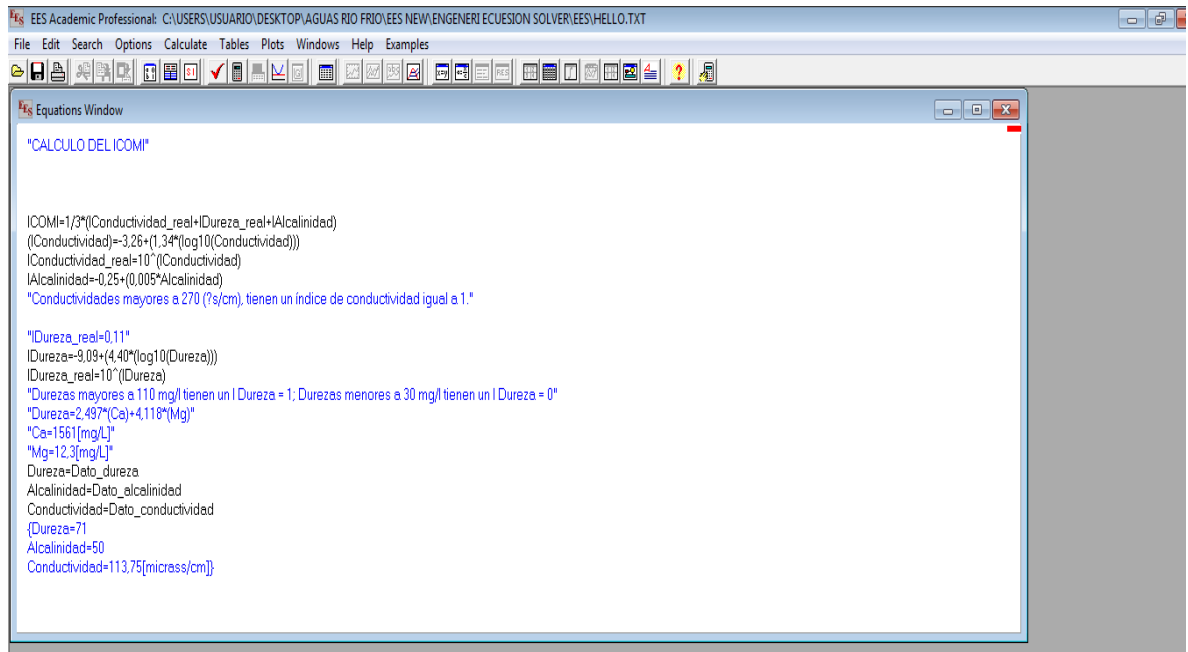
PUNTOS	AÑO 2011			AÑO 2012		
	ICOMI	ICOMO	ICOSUS	ICOMI	ICOMO	ICOSUS
RF-P	0,13	0,49	0,4	0,13	0,56	0,35
RF-B	0,43	0,89	0,38	0,59	0,83	0,44
RF-1A	0,42	0,87	0,34	0,56	0,85	0,61

Fuente: Informe anual de la red de monitoreo de calidad del agua [11]

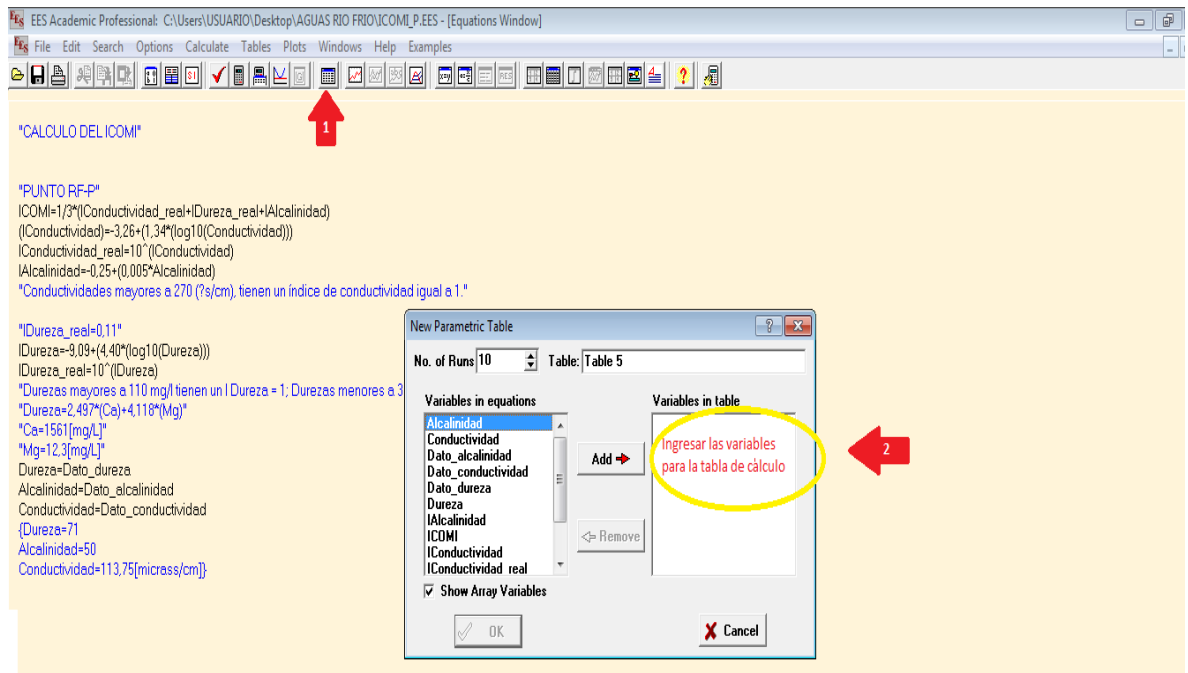
Anexo I. Pasos para el cálculo de ICO con el Software EES



Anexo J. Pasos para el cálculo de ICO con el Software EES



Anexo K. Pasos para el cálculo de ICO con el Software EES



Anexo L. Pasos para el cálculo de ICO con el Software EES

EES Academic Professional: C:\Users\USUARIO\Desktop\AGUAS RIO FRIO\ICOMI_P.EES - [Parametric Table]

File Edit Search Options Calculate Tables Plots Windows Help Examples

Table 2 | Table 2(copy) | Table 3 | Table 4

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Dato_alcalinidad	Dato_conductivida	Dato_dureza	Alcalinidad	Conductividad [micrass/cm]	IDureza	IAlcalinidad	IConductividad	IDureza_real	ICOMI
Run 1	50	113.8	71	50	113.8	-0.9445	0	0.3126	0.1136	0.1421
Run 2	55.56	123.3	74.22	55.56	123.3	-0.8597	0.02778	0.3484	0.1381	0.1714
Run 3	61.11	132.9	77.44	61.11	132.9	-0.7784	0.05556	0.3851	0.1666	0.2024
Run 4	66.67	142.5	80.67	66.67	142.5	-0.7005	0.08333	0.4228	0.1993	0.2351
Run 5	72.22	152.1	83.89	72.22	152.1	-0.6257	0.1111	0.4613	0.2368	0.2697
Run 6	77.78	161.7	87.11	77.78						
Run 7	83.33	171.3	90.33	83.33						
Run 8	88.89	180.8	93.56	88.89						
Run 9	94.44	190.4	96.78	94.44						
Run 10	100	200	100	100						

Dato_alcalinidad: Column 1

First Row 1 Last Row 10

Enter Values

First Value 50 Last value 100

Repeat pattern every 10 rows

OK Cancel

4. Datos calculados

En los pasos anteriores se ingresaron las ecuaciones del ICOMI, ahora se harán los siguientes pasos:

- click para ver la tabla de datos
- Ingresar valores de corrida
- click para correr el programa

Anexo M. Sistema de tratamiento de aguas residuales PTAR río Frío

