

Determinación de la capacidad de autodepuración en un tramo del río Fonce en San Gil con base en el balance de oxígeno disuelto

Capacity assessment of self-purification in a stretch of Fonce river in San Gil based on dissolved oxygen balance

Duarte Silva, Cristian Camilo¹, Pico Pinto, Gerardo Sebastián² y Estupiñán Pinto, Rafael Antonio³
Fundación Universitaria de San Gil - Unisangil, Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
San Gil, Colombia

cristianduarte@unisangil.edu.co
sebastianpico@unisangil.edu.co
restupiñan@unisangil.edu.co

Fecha de Recepción: 12 de agosto de 2015
Fecha de Aceptación: 10 de noviembre de 2015

Resumen — La autodepuración se define como la capacidad que tiene una fuente hídrica de absorber o asimilar las diferentes cargas contaminantes que recibe en su recorrido natural. El río Fonce es una fuente hídrica de gran importancia para la provincia de Guantán, pues además de suministrar agua para diversos acueductos municipales, aporta la posibilidad de hacer uso del mismo en recreación y actividades turísticas, en donde el agua del río es un componente esencial. Desafortunadamente, a causa del manejo y uso que se le da, la cuenca está sufriendo grandes deterioros, ya que los vertimientos que se ubican a través del cauce del río, son descargados al mismo sin ningún tipo de tratamiento y en los sitios donde existen PTAR (Planta de Tratamiento de Agua Residual) el tratamiento no es eficiente. El método que propone el presente estudio para determinar la capacidad de autodepuración del río Fonce, es el balance de oxígeno disuelto en un tramo del mismo en San Gil, basándose en la cuantificación del oxígeno, la carga por medio de DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) y su evolución a través del cauce del río. Los resultados del estudio arrojaron que si la capacidad del río Fonce se mide por su recuperación y nivel de oxígeno disuelto, es autodepurable en el tramo de estudio; si esta capacidad del río Fonce se mide por la degradación de la carga microbiológica, este se considera muy contaminado y no es autodepurable en la zona de estudio. Además se realizó el cálculo de ICO's, encontrándose que no existe contaminación por

mineralización -ICOMI-, por sólidos suspendidos -ICOSUS- y por pH -ICOpH; sin embargo se encuentra contaminación media a causa de la materia orgánica -ICOMO que se encontró a lo largo del tramo de estudio.

Palabras clave— Autodepuración, oxígeno disuelto, río Fonce.

Abstract - Self-depuration is defined as the capacity of a water source to absorb different pollutant loads received in its natural current. River Fonce is a very relevant water source in Guantán Province. Therefore, in addition to supplying water to several municipal aqueducts, it is possible to enjoy it in leisure and touristic activities, where the river water is a vital component. Unfortunately due to the treatment and use given, the basin is suffering an important damage since dumping throughout the river current are discharged in it without any treatment, in the places where there is a sewage treatment plant the treatment is not effective. The method proposed in this study to determine the capacity of self-depuration of the river Fonce is the balance of oxygen dissolved in a stretch in the river in San Gil, based on quantification of the oxygen, the load by means of BOD (biochemical oxygen demand) and its evolution through the current of the river. The results of the study showed that if the capacity of the Fonce river is measured by its recovery and dissolved oxygen level, is self-depurative in the section of study; If this capability of

¹ Ingeniero Ambiental; Unisangil

² Ingeniero Ambiental; Unisangil

³ Ingeniero Químico, Coordinador Semillero AGUAS, Unisangil

the Fonce river is measured by the degradation of microbiological load, this is considered very polluted and is not self-depurative in the study area. We also carried out the calculation of ICO's finding that there is no contamination by mineralization - ICOMI-, - ICOSUS - suspended solids and pH - ICOPH; However is average because of the organic matter pollution - as that was found along the stretch of study.

Keywords - Self-depuration, Dissolved Oxygen, Fonce river.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad se da una inadecuada recolección, tratamiento y disposición de los vertimientos generados por las diferentes actividades económicas, que originan, en forma sucesiva y creciente, problemas tanto de salubridad como de calidad del agua en varias regiones, situación que es insostenible, en la medida en que los cuerpos receptores exceden la capacidad de asimilación de los contaminantes, alterando de esta manera la calidad del recurso para su uso posterior; aspecto que incrementa un costo adicional para su tratamiento. Adicional a ello, la oferta hídrica se ha reducido notablemente en términos de calidad, debido a la presencia de elementos nocivos por el vertimiento de sustancias patógenas, tóxicas, mutagénicas, corrosivas o abrasivas. El río Fonce, a pesar de ser una de las fuentes de agua más importantes para el departamento de Santander por su caudal y extensión, no se escapa de esta realidad. Según el Sistema de Información Ambiental de Colombia SIAC, no existe información sobre la situación actual del agua en la cuenca de este río [1], lo que ha generado que por desconocimiento e indiferencia acerca de la problemática, se planteen una serie de propuestas y estrategias que, aunque creadas bajo una buena intención, no logran repercutir positivamente con acciones coherentes y eficientes que mitiguen el impacto de las actividades antrópicas desarrolladas sobre sus vertientes.

La presente investigación realizó la medición de la capacidad de autodepuración que tiene el río Fonce para la gestión integral de su cuenca y la formulación de estrategias adecuadas en la sostenibilidad del recurso, dado que la cuenca de este río se destaca a nivel nacional por ser un recurso hídrico muy caudaloso y, a su vez, un excelente escenario para la recreación y turismo por los diferentes deportes acuáticos que se practican en él y todos los aprovechamientos que le dan los habitantes de la región, incluido el de ser usado como fuente para abastecimiento del acueducto de San Gil.

Con la intención de medir la capacidad de autodepuración, se propuso el método de balance de oxígeno disuelto, el cual se realizó a la entrada del río, en jurisdicción del municipio de San Gil. Este método se basó en la medición del oxígeno

disuelto que tienen sus aguas, la cuantificación de la carga por medio de parámetros como la DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) y su evolución a través del cauce del río.

Con esta investigación se quiere brindar un elemento diferenciador, para generar información correcta y conciencia en la sociedad acerca de la contaminación hídrica, ya que es importante implementar normas de calidad de vertidos, política de la cuenca del río Fonce y normas para diferentes usos del recurso que conlleven a proteger la sostenibilidad del mismo.

Además de obtener un beneficio en cuanto a la toma de decisiones con respecto a actividades, obras, impactos, estado actual y futuro del río, también se beneficiará el sector turístico, teniendo en cuenta que en ese río se realizan actividades deportivas de gran importancia para el municipio, como el rafting.

II. METODOLOGÍA

La metodología que se propuso para determinar la capacidad de autodepuración del río Fonce se basó en 4 etapas:

1) *Etapa preliminar*

Para el desarrollo de esta etapa se estipularon dos (2) meses, la cual consistió en la revisión bibliográfica primaria y secundaria, iniciando la búsqueda desde las entidades que tienen responsabilidades sobre el río, como la autoridad ambiental que se encuentra en la jurisdicción de San Gil, la Corporación Autónoma Regional de Santander CAS. Además se indagó información de estudios realizados anteriormente al río por las entidades de turismo (deportes extremos). La información encontrada en esta etapa sirvió de base para llevar a cabo los análisis de datos.

2) *Análisis de datos*

En esta fase se estimó un (1) mes para su realización. Con la información obtenida en la fase preliminar, se determinaron los parámetros adecuados para medir la capacidad de autodepuración del río Fonce, se realizó la selección del modelo para oxígeno disuelto. Para ello fue necesario caracterizar el río, morfológica e hidráulicamente; así como conocer aspectos biológicos como la flora y fauna acuática, para de esta manera poder determinar si procesos como la fotosíntesis son importantes. Además, se identificaron los sitios donde se presentan descargas y usos del agua, principalmente analizando si hay extracciones de abastecimiento del agua para consumo humano a lo largo del cauce, con ello se logró definir los puntos de muestreo y se diseñó el plan de monitoreo. La selección del modelo se

hizo de acuerdo a la calidad de la información disponible y a la caracterización del río en estudio.

3) Etapa de trabajo de campo

Esta etapa tuvo una duración de aproximadamente dos (2) meses. En este tiempo se realizaron mediciones de campo de los parámetros definidos, en los puntos establecidos en un lapso de tiempo de 15 días, lo que se logró con un viaje en canotaje por el tramo de estudio del proyecto y las visitas de inspección a los puntos establecidos. Algunos datos fueron obtenidos in-situ y otros datos se obtuvieron en el laboratorio de Aguas de Unisangil.

4) Etapa final

Esta etapa duró dos (2) meses. En ella se realizó la recopilación y análisis de la información primaria y secundaria para el desarrollo del modelo de oxígeno definido, la elaboración de la curva de oxígeno disuelto y la determinación con los datos obtenidos en campo, los valores de los Índices de contaminación ICO's. Al obtener esta información se procedió a la consolidación de la misma y la presentación de los resultados.

III. RESULTADOS

Después de aplicar la anterior metodología y realizar el análisis de los datos obtenidos se tienen los siguientes resultados:

A. Datos hidráulicos del río Fonce

Haciendo una revisión bibliográfica y tomando algunos datos de campo se determinaron los datos hidráulicos necesarios para llevar a cabo el estudio (ver tabla 1).

TABLA 1. TAMAÑOS DE FUENTE PARA ARTÍCULOS

| Característica | Valor | Unidad |
|---|-------|-------------------|
| Pendiente (S_1) | 0,54 | % |
| Longitud del tramo ₁ | 9,00 | Km |
| Anchura Canal (B_1) | 28,0 | M |
| Coefficiente de rugosidad de Manning (n_2) | 0,70 | - |
| Profundidad Canal (h_1) | 1,37 | M |
| Velocidad (v_1) | 1,30 | m/s |
| Caudal ₁ | 49,14 | m ³ /s |
| Tiempo de concentración, Giandotti ₃ | 3,26 | h |
| Factor de forma ₃ | 0,63 | - |
| Sinuosidad (sinuoso) ₃ | 1,55 | - |
| Tasa de reaireación ₁ | 114,1 | d ⁻¹ |
| Constante de reacción ₁ | 3,02 | d ⁻¹ |

Fuente: (1) los autores, (2) "Hidráulica de canales abiertos" McGraw-Hill, (3) Formulación POMCA del río Fonce 2010.

B. Vertimientos del tramo de estudio

Se determinaron 9 vertimientos en los cuales se realizó una recopilación de la información existente en la Corporación Autónoma Regional de Santander, CAS, y la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de San Gil, ACUASAN E.I.C.E. ESP, (ver tabla 2).

TABLA 2. VERTIMIENTOS TRAMO DE ESTUDIO

| Vertimiento | Caudal m ³ /s | DBO mg/l |
|-----------------------------|--------------------------|----------|
| Quebrada Curití | 2,200000 | 2,5 |
| Comfenalco-carrera 12 | 0,015618 | 178,67 |
| Paso Libertador | 0,001395 | 246,33 |
| Barrio Colombia | 0,000829 | 184,00 |
| Barrio Arboledas San Martín | 0,013013 | 107,98 |
| Barrio La Libertad | 0,004237 | 200,00 |
| Colector | 0,083000 | 170,24 |
| Barrio Luis Carlos Galán | 0,002750 | 393,10 |
| Barrio Villa del Prado | 0,004158 | 405,10 |

C. Datos de campo

Los valores de temperatura, pH y conductividad en los resultados arrojados se encuentra dentro de los rangos normales según la normativa y objetivos de calidad para el río Fonce, ver figura 1.

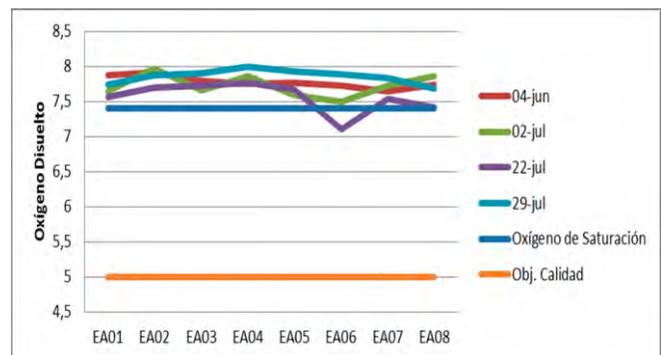


Fig. 1 Datos de oxígeno disuelto medidos en el tramo de estudio.

Para el caso del oxígeno disuelto, sólo un punto está por debajo del nivel de oxígeno de saturación, en el Malecón (EA06). Los demás datos se encuentran por encima, es decir, sobresaturados, obteniéndose información no esperada; además se evidenció que los valores para este parámetro están por encima de los objetivos de calidad para el río Fonce. Debido a que al río se vierten las aguas sin ningún tipo de tratamiento, se esperaba hallar concentraciones de oxígeno menores que evidenciaran el consumo de oxígeno usado, para la degradación de la materia orgánica agregada; contrario a esto, los resultados

arrojaron que los valores de oxígeno disuelto están por encima del oxígeno de saturación -7,4 mg/l-.

El oxígeno disuelto se encuentra en niveles admisibles para la destinación del recurso y/o preservación de flora y fauna, considerándose como una fuente de agua aceptable, que debe ser mayor o igual a 4.0 mg/L en su contenido de oxígeno disuelto.

D. Datos de laboratorio

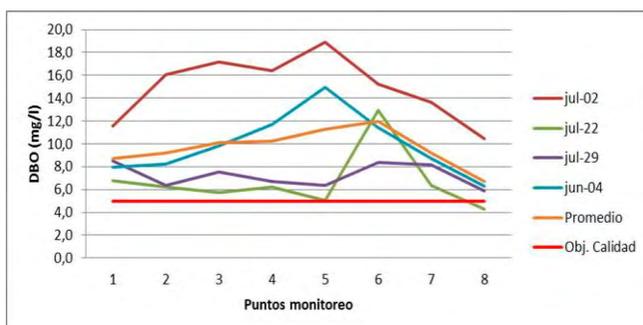


Fig. 2 Datos de demanda biológica de oxígeno para el tramo de estudio.

Para el 2 de julio de 2015, la DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) se registró con valores más altos en relación a los demás días. Esto se debe a que para esta fecha en San Gil aumentó la actividad turística y por ende los vertimientos provenientes de la infraestructura hotelera y de restaurantes que se encuentran a través del tramo de estudio (ver figura 2).

Los valores de DBO son bajos ya que el caudal de los vertimientos es pequeño con relación al caudal del río, lo que hace que éste se diluya fácilmente y no altere el equilibrio del mismo. A pesar de lo anterior, los valores están por encima de los objetivos de calidad establecidos, los cuales deben ser ≤ 5 mg/l para los usos a los que es destinado el río Fonce (ver figura 3).

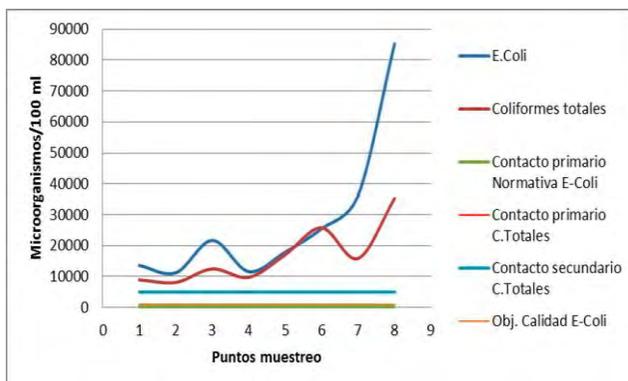


Fig. 3 Datos microbiológicos para el tramo de estudio.

Los valores en todos los puntos de muestreo superaron los establecidos en la destinación del recurso para el consumo humano y doméstico. Además se pudo observar que los

valores superan por más del 50% a los criterios de calidad del agua para contacto primario y secundario, siendo este el parámetro más crítico pues se incumple la normatividad colombiana, esto es de resaltar debido a la importancia del río Fonce en el sector turístico y como eje de la economía sangileña.

E. Balances de masa

Se realizaron los balances de masa de oxígeno disuelto y carga contaminante para determinar la capacidad de autodepuración y de reaeración en porcentaje con valores de 24,2 % y 20,54 % respectivamente, ver tablas 3 y 4.

TABLA 3. BALANCE DE MASA - CARGA CONTAMINANTE

| Criterio | Valor | Unidades |
|--|---------|----------|
| Carga de entrada | 426.901 | mg/s |
| Carga vertimientos | 22.434 | mg/s |
| Carga quebrada Curití | 5.448 | mg/s |
| Carga que sale teórica sin degradación | 454.784 | mg/s |
| Carga que sale medida | 344.901 | mg/s |
| Carga depurada | 109.882 | mg/s |
| Porcentaje de autodepuración | 24,2 | % |

TABLA 4. BALANCE DE MASA – OXÍGENO DISUELTO

| Criterio | Valor | Unidades |
|---------------------------------------|---------|-------------------|
| Oxígeno promedio de entrada | 7,87 | mg/l |
| Oxígeno promedio de salida | 7,74 | mg/l |
| Oxígeno quebrada Curití | 7,54 | mg/l |
| Oxígeno vertimientos | 1,50 | mg/l |
| Oxígeno por degradación | 109.882 | mg/l |
| Caudal río Fonce inicial | 49,14 | m ³ /s |
| Caudal río Fonce final | 51,44 | m ³ /s |
| Porcentaje de recuperación de oxígeno | 20,54 | % |

F. Modelo Streeter and Phelps

Para llevar a cabo el modelo de Streeter and Phelps, fue necesario determinar la tasa de reaeración y la constante de reacción, las cuales se determinaron realizando una completa revisión bibliográfica. La constante de reacción se determinó en 3,02 d-1 y la tasa de reaeración en 114,29 d-1, teniendo en cuenta la ecuación de Tsvoglou que, según un estudio realizado para determinar la tasa en un río de montaña colombiano, se encontró que el modelo de Tsvoglou y Neal basado en la disipación de energía dio la mejor predicción [2].

Usando la ecuación de Streeter – Phelps y los valores de Ka y Kd estimados, se obtienen las figuras 4 y 5.

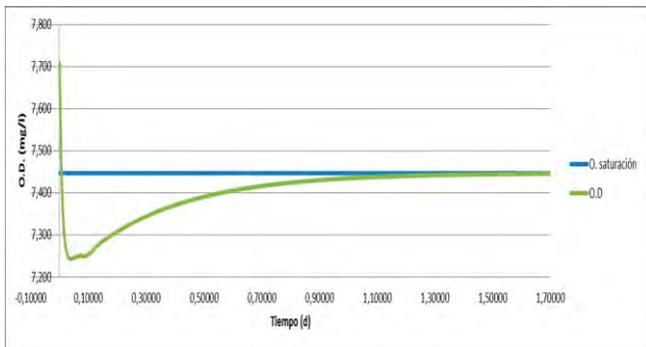


Fig. 4. Resultado obtenido con el modelo Streeter and Phelps.

Los valores teóricos que se presentaron en el modelo no corresponden a las condiciones encontradas en el río Fonce, pues en todos sus puntos -a excepción de un día en un punto- tiene valores por encima de los valores de saturación.

Lo anterior indicó que para realizar una estimación teórica para el caso del río, no se pueden usar estos modelos matemáticos, pues ellos parten del supuesto de déficit de oxígeno, que para este caso no se dan, ya que sus condiciones hidráulicas no presentan estas características.

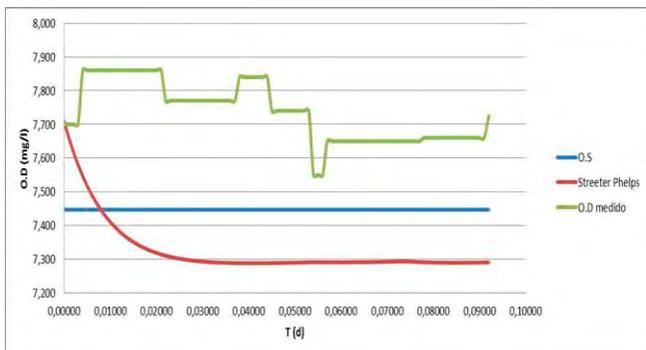


Fig. 5 Comparación oxígeno disuelto medido y oxígeno disuelto mediante el modelo Streeter and Phelps.

G. Índices de contaminación ICO's

Como una forma de complementar la información anterior y con los datos de campo obtenidos, se calcularon los índices de contaminación como un indicador de la calidad de las aguas, para este caso se determinaron los siguientes: por materia orgánica -ICOMO-; por mineralización -ICOMI-; por sólidos suspendidos -ICOSUS-; y por pH -ICOpH-

Los índices de contaminación por mineralización (ICOMI), sólidos suspendidos (ICOSUS) y pH (ICOpH) mostraron valores por debajo de 0,2, lo que indica que se clasifica como "ninguna" contaminación (ver tabla 5).

TABLA 5. ICO's TRAMO DE ESTUDIO

| Punto Muestreo | ICOMO | ICOMI | ICOSUS | ICOpH |
|------------------------|-------|-------|--------|-------|
| La virgen | 0,47 | 0,08 | 0,15 | 0,01 |
| Restaurante La playa | 0,46 | 0,07 | 0,19 | 0,02 |
| Restaurante Mateguadua | 0,52 | 0,07 | 0,16 | 0,02 |
| Zona hotelera | 0,47 | 0,07 | 0,19 | 0,03 |
| Bocatoma | 0,50 | 0,07 | 0,14 | 0,03 |
| Malecón | 0,51 | 0,15 | 0,12 | 0,04 |
| Paso El Libertador | 0,51 | 0,08 | 0,15 | 0,05 |
| Puente Gómez Silva | 0,49 | 0,16 | 0,14 | 0,04 |

Caso contrario se obtuvo para el índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO); se presentaron valores entre 0,46 y 0,52, evidenciándose contaminación "media" a lo largo del tramo.

El índice de contaminación por materia orgánica reúne tres aspectos: la DBO, Coliformes totales y porcentaje de saturación de oxígeno. Para el caso del río Fonce, los valores de DBO están en la mitad del rango definido (2-30 mg/l) y los valores de coliformes sobrepasan en la mayoría de los puntos el rango estipulado para este, la contribución de oxígeno disuelto es 0, ya que en todos los puntos el valor del oxígeno está saturado. Según esto, la contribución para este índice la dan principalmente los Coliformes y la DBO.

IV. CONCLUSIONES

La capacidad de autodepuración depende en esencia de la velocidad de degradación y del oxígeno disuelto. Para el caso del río Fonce, se encontró que los niveles de oxígeno disuelto están por encima de los valores de saturación -sobresaturado-, lo que indicó, que tiene una gran capacidad de reaeración, debido a sus condiciones hidráulicas.

Los valores teóricos encontrados en el modelo propuesto no corresponden a las condiciones propias del río en el tramo de estudiado, pues estos asumen matemáticamente un déficit inicial de oxígeno que para el caso del río Fonce no se da.

En cuanto a coliformes totales y E.Coli, a lo largo del tramo de estudio, los valores estuvieron por fuera de lo permitido en la normatividad colombiana para uso recreativo, tanto de contacto primario como secundario.

Para los ICO's, los índices de contaminación por mineralización (ICOMI), sólidos suspendidos (ICOSUS) y pH (ICOpH) se clasificaron para el tramo de estudio como "ninguna" contaminación.

Contrario a lo anterior, el índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO) se clasificó como de contaminación “media”, donde el principal factor incidente es la contaminación por Coliformes.

De acuerdo al punto de vista de parámetros fisicoquímicos, el porcentaje de autodepuración del río Fonce en el tramo de estudio, se determinó en un 24,2% teniendo en cuenta las cargas de entrada y una capacidad de recuperación de oxígeno de 20,54%. Si solo se tiene en cuenta la carga que recibe en el tramo de estudio, la capacidad de autodepuración es del 100% puesto que en este tramo degradó más del que recibió debido a los vertimientos.

Es inapropiado interpretar que de acuerdo a la capacidad de reoxigenación que tiene el río Fonce por sus características hidráulicas, está disponible para recibir más carga contaminante de la que se hace actualmente mediante la descarga de los vertimientos a lo largo de su recorrido.

Es necesario, con la información recolectada, proponer un modelo matemático que explique el comportamiento de ríos con déficit de oxígeno negativo, es decir, para ríos de montaña que por sus condiciones hacen que tengan gran reaeración y por consiguiente están sobresaturados.

Se hace necesario realizar un estudio sobre la capacidad de degradación de la carga microbiológica, pues de acuerdo al estudio realizado, no se detectó disminución a lo largo del tramo analizado.

Para la Ingeniería Ambiental, se presentó una gran oportunidad de aportar con el diseño y operación de pequeñas plantas de tratamiento para los vertimientos que se dan a lo largo del río, estas plantas deben ser eficientes, económicas y de un bajo mantenimiento, con el fin de eliminar principalmente la carga debida a materia fecal tanto humana como animal.

REFERENCIAS

- [1] Corporación Autónoma de Santander, CAS, Fase prospectiva *Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del río Fonce - 2011*, Tema físico, Hidrología, p. 124, 2010.
- [2] L. D., Mackenzie y S J Masten, *Ingeniería y Ciencias Ambientales*, México, MCGRAW-HILL, p. 297, 2005.
- [3] L González y J Larrota, “Diagnóstico y evaluación de la situación actual de los vertimientos de tipo doméstico generados por el área urbana en los municipios de San Gil, Pinchote y Páramo sobre la cuenca del río Fonce” Escuela de Ingeniería Química, Trabajo de grado, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia. 2010.
- [4] J. Holguín y A. Camacho, Determinación de la tasa de reaeración en un río de montaña colombiano mediante el uso de trazadores [Online]. Available: <file:///D:/Mis%20documentos/Downloads/50463518181132b22a.pdf>
- [5] R. Monte, “Metodología para evaluar la modificación de la capacidad de autodepuración de los ríos por efecto del cambio climático” Tesis de grado], UNAM-Universidad Nacional Autónoma