

ANALISIS DE ALTERNATIVAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES Y DESCONTAMINACION DE LA QUEBRADA BARICHARA
EN EL MUNICIPIO DE BARICHARA (SANTANDER)

JUAN CARLOS CAMACHO ANGULO
NELLY MENDOZA FIGUEROA
JOSE AGUSTIN OSORIO LEAL

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO MECANICAS
ESPECIALIZACION EN EVALUACION Y GERENCIA DE PROYECTOS
BUCARAMANGA
2006

ANALISIS DE ALTERNATIVAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES Y DESCONTAMINACION DE LA QUEBRADA BARICHARA
EN EL MUNICIPIO DE BARICHARA (SANTANDER)

JUAN CARLOS CAMACHO ANGULO
NELLY MENDOZA FIGUEROA
JOSE AGUSTIN OSORIO LEAL

Proyecto de Grado presentado como requisito para optar al título de:
Especialista en Evaluación y Gerencia de Proyectos

Director:
DR. HERNAN PABON BARAJAS

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO MECANICAS
ESPECIALIZACION EN EVALUACION Y GERENCIA DE PROYECTOS
BUCARAMANGA
2006

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. PLAN DE INVESTIGACIÓN	4
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.1.1 Descripción	4
1.1.2 Esquema	5
1.1.3 Formulación	7
1.2 ALCANCE	7
1.3 JUSTIFICACIÓN	7
1.4 OBJETIVOS	9
1.4.1 General	9
1.4.2 Específicos	9
2. MARCOS REFERENCIALES	10
2.1 MARCO CONTEXTUAL	10
2.1.1 Antecedentes	10
2.1.2 La problemática ambiental en Barichara	13
2.2 MARCO CONCEPTUAL	16
2.3 MARCO TEORICO	27
2.3.1 Aguas residuales y contaminación	27
2.3.2 Análisis costo/beneficio	34

2.4 MARCO LEGAL	37
3. METODOLOGÍA	43
4. EVALUACIÓN DE PROYECTOS ALTERNATIVOS	47
4.1 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	53
4.1.1 Procedimiento Técnico	53
4.1.2 Evaluación Económica de la planta de tratamiento	56
4.2 SISTEMA DE TRATAMIENTO CON TECNOLOGÍA EM.	61
4.2.1 Aspectos Técnicos	61
4.2.2 Análisis de viabilidad económica: Tecnología EM	69
CONCLUSIONES	77
RECOMENDACIONES	78
BIBLIOGRAFÍA	79

RESUMEN

TITULO ANALISIS DE ALTERNATIVAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Y DESCONTAMINACION DE LA QUEBRADA BARICHARA EN EL MUNICIPIO DE BARICHARA (SANTANDER)*

AUTORES

JUAN CARLOS CAMACHO ANGULO

NELLY MENDOZA FIGUEROA

JOSE AGUSTIN OSORIO LEAL**

PALABRAS CLAVES Tratamiento de aguas residuales, Barichara Santander, microorganismos eficientes, contaminación del agua, planta de tratamiento.

CONTENIDO

El problema objeto de análisis en este trabajo es el de la contaminación de la Quebrada Barichara en el municipio del mismo nombre, ocasionada por el vertimiento de las aguas residuales de uso doméstico que van a parar al cauce de dicha quebrada, sin ningún tipo de tratamiento, a través del sistema de alcantarillado municipal. Tradicionalmente, la solución que consideran para resolver este problema, la mayoría de los municipios en Colombia, es el montaje de una planta de tratamiento de aguas residuales. Sin embargo, en la medida en que este tipo de proyecto implica costos muy elevados, el problema en Barichara y otros municipios, se mantiene sin resolver.

En este trabajo se explora la viabilidad de una nueva tecnología, como proyecto alternativo al de las plantas de tratamiento, a partir del uso de Microorganismos Eficientes (EM); capaces de destruir los factores contaminantes y permitir así que las aguas servidas lleguen a los cauces de ríos, quebradas, lagunas, entre otros, totalmente descontaminadas.

Desde esta perspectiva, el estudio compara la viabilidad de los dos proyectos alternativos, con el fin de determinar cuál es la solución más conveniente. Para lograr este objetivo se utilizó como marco de referencia teórica el análisis de la relación Costo–Beneficio, bajo el método de costo-eficiencia, en la medida en que se supone que ambos proyectos generan los mismos beneficios: en últimas, el trabajo determina cuál de los dos proyectos resuelve el problema con el mínimo costo. El análisis realizado muestra que a pesar de algunos inconvenientes de orden cultural, la aplicación de la tecnología EM resulta significativamente menos costosa que el montaje de la planta de tratamiento. De esta manera, los pequeños municipios que viven esta problemática pueden solucionar la situación implementando esta tecnología, que además de ser eficiente, no requiere de una inversión inicial costosa.

* Trabajo de grado

** INGENIERIAS FISICO MECANICAS, POSGRADO EVALUACION Y GERENCIA DE PROYECTOS, DIRECTOR: HERNAN PABON BARAJAS

ABSTRACT

TITLE ANALYSIS OF ALTERNATIVES TO THE TREATMENT OF RESIDUAL WATERS AND DESCONTAMINATION OF THE BARICHARA BROOK IN THE MUNICIPALITY OF BARICHARA (SANTANDER)*

AUTHORS

JUAN CARLOS CAMACHO ANGULO

NELLY MENDOZA FIGUEROA

JOSÉ AGUSTÍN OSORIO LEAL**

WORDS KEY Treatment of residual waters, Barichara Santander, efficient microorganisms, contamination of the water, water treatment plant.

CONTENTS

The problem analysis object in this work is that of the contamination of the Barichara brook in the municipality of the same name, caused by the fall of the waste water of domestic use that will stop to the bed of this brook, without any treatment type, through out the municipal sewer system. Traditionally, the solution for these consider to solve this problem, most of the municipalities in Colombia, are the assembly of a plant of treatment of residual waters. On the other hand, as the building process requires significant amounts of money, the problem in Barichara and other municipalities, stays without solving.

This essay attempts to explore the viability of a new sort of technology, an alternative to water treatment facilities. This alternative is called Efficient Microorganisms (EM). EM are capable to destroy the elements that cause water pollution, allowing treated water to flow to the river streams, lakes, among other water bodies, completely pollution free.

It is from this perspective that this essay compares the viability of two alternative projects, in order to decide which one is more convenient. In order to come to a conclusion, we based our judgment in a cost-benefit analysis, under the method of cost-efficiency, . Insofar as both projects are supposed to produce the same basic benefits, the essay will determine, in the end, which one do so with the lowest cost possible. The analysis being done here, proves that despite some issues related to culture, the use of EM is significantly much cheaper than a water treatment plant. In this way, small municipalities that live in this problematic could resolve their issues by using EM technology, which not only is more efficient, but requires very little initial economic resources.

* Degree project

** PHYSICAL MECHANICAL INGENIEERING, GRADUATE PROGRAM PROJECT MANAGEMENT AND EVALUATION, DIRECTOR: HERNAN PABON BARAJAS

INTRODUCCIÓN

El trabajo que a continuación se presenta, analiza la viabilidad económica de proyectos alternativos de carácter público. En este caso, se trata de encontrar la solución más viable a la problemática ambiental del municipio de Barichara en el departamento de Santander, generada por las aguas servidas de origen doméstico que llegan a la Quebrada Barichara por los conductos del alcantarillado.

De acuerdo con las muestras de agua tomada en diferentes puntos de la quebrada Barichara y los respectivos análisis microbiológicos realizados por el Laboratorio CONTROL DE CALIDAD LTDA., la quebrada se encuentra efectivamente contaminada. Si no se hace nada para evitar que las aguas contaminadas por el uso doméstico se sigan vertiendo sobre la quebrada sin ningún tipo de tratamiento, su deterioro habrá de continuar amenazando incluso la existencia misma del único cauce hídrico con que cuenta el Municipio.

En el Municipio se han discutido como posibles soluciones, dos proyectos alternativos: Montar y operar una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales y establecer un sistema de descontaminación utilizando la tecnología de los Microorganismos Eficientes (EM)¹. Con el fin de contribuir a la solución que requiere el municipio y a favorecer las condiciones para la toma de decisiones por parte de las autoridades municipales y departamentales, este trabajo analiza las características de viabilidad económica y de efectividad de cada una de las alternativas en discusión.

¹ De sus siglas en inglés EM (Efficient Microorganisms) ver glosario

Para realizar el trabajo se utiliza como herramienta de análisis la relación Beneficio-Costo. Cómo se sabe esta herramienta permite determinar, a partir del valor presente de los beneficios netos (Beneficios – Costos), qué proyecto es el de mejor referencia para implementarse. Sin embargo, y dado que los beneficios de los dos proyectos son prácticamente los mismos, no tiene sentido realizar la evaluación a partir de los beneficios netos, pues basta con construir el flujo de costos de los proyectos analizados, obtener el Valor Presente de los Costos y realizar la comparación, sabiendo de antemano que la alternativa mas viable desde el punto de vista de la evaluación económica será aquella que arroje el menor valor presente. A esto hay que agregarle el hecho de que los beneficios que se deriven de la descontaminación de la quebrada objeto de análisis, son mayoritariamente intangibles y de difícil medición.

Los beneficios identificados en cualquiera de los proyectos son los siguientes:

- Recuperación de la quebrada como atractivo turístico.
- Mejorar la calidad de vida y la salud de la población aledaña a la quebrada.
- Mejorar la calidad de los cultivos que utilizan aguas de la quebrada.
- Recuperación de la fauna que habita en torno a la quebrada.
- Generar conciencia ciudadana sobre la preservación y conservación del medio ambiente.

El trabajo realizado ha sido estructurado de la siguiente manera:

- En primer lugar se establecen unos Marcos de referencia, en los que se establecen algunas características básicas del municipio de Barichara, se identifica la problemática generada por la contaminación de la Quebrada y

se identifican las características técnicas de las aguas servidas o aguas residuales como también se les llama.

- En segundo lugar, se analiza de manera amplia cada una de las dos grandes alternativas. Este análisis abarca dos aspectos: De un lado se establecen las características técnicas de cada proyecto y de otro, se desarrolla el procedimiento que permite la construcción de los flujos de costos y la determinación del valor presente de los costos a partir de dichos flujos.
- Por ultimo, se señala cuál es la mejor alternativa en términos del Valor presente, pero también los inconvenientes que se derivarían de su implementación y que podría reducir su nivel de efectividad. Hay que señalar que la segunda alternativa puede desarrollarse a partir de dos procedimientos diferentes, por tal razón en este caso se hacen dos evaluaciones, lo que implicaría que a la larga son tres y no dos los proyectos alternativos analizados.

1. PLAN DE INVESTIGACIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.1 Descripción. Existe una gran preocupación con relación a la calidad y disponibilidad del recurso hídrico en el municipio de Barichara, debido al paulatino deterioro de la quebrada Barichara, única micro cuenca de agua propia del municipio.

La contaminación de la quebrada se explica principalmente porque las aguas negras que resultan del uso doméstico se vierten a ella directamente, sin ningún tipo de tratamiento. Esta contaminación no solo amenaza la existencia misma de la quebrada en una zona tradicionalmente semiárida con bajos índices de precipitación anuales (1.000 mm – 1.600 mm), sino que también tiene factores negativos en la población rural que utiliza sus aguas para el riego de cultivos. Esta situación tiene efectos negativos en la medida en que es fuente de enfermedades que atacan principalmente a la población infantil y también por cuanto amenaza seriamente la existencia de la microcuenca que da origen a la quebrada.

Esta problemática da origen a la necesidad de diseñar sistemas o mecanismos de descontaminación de dichas aguas; entre las varias alternativas posibles hay dos que han sido objeto de atención en el Municipio: Una de ellas consistiría en construir una planta de tratamiento para las aguas residuales (PTAR), y la otra en insertar un dispositivo de descontaminación a base de EM (Efficient Microorganisms) directamente en los tanques de los baños de cada una de las residencias del municipio, con el

fin de esparcir por el sistema de alcantarillado microorganismos eficaces con capacidad de descontaminación.

Precisamente el objeto de este estudio consiste en determinar por medio del análisis de costos, cuál de dichas alternativas es la mas conveniente para el municipio, dado que se parte del supuesto de que los beneficios generados por cualquiera de las dos alternativas son, en términos generales, los mismos.

De esta manera el problema objeto de análisis se sintetiza así:

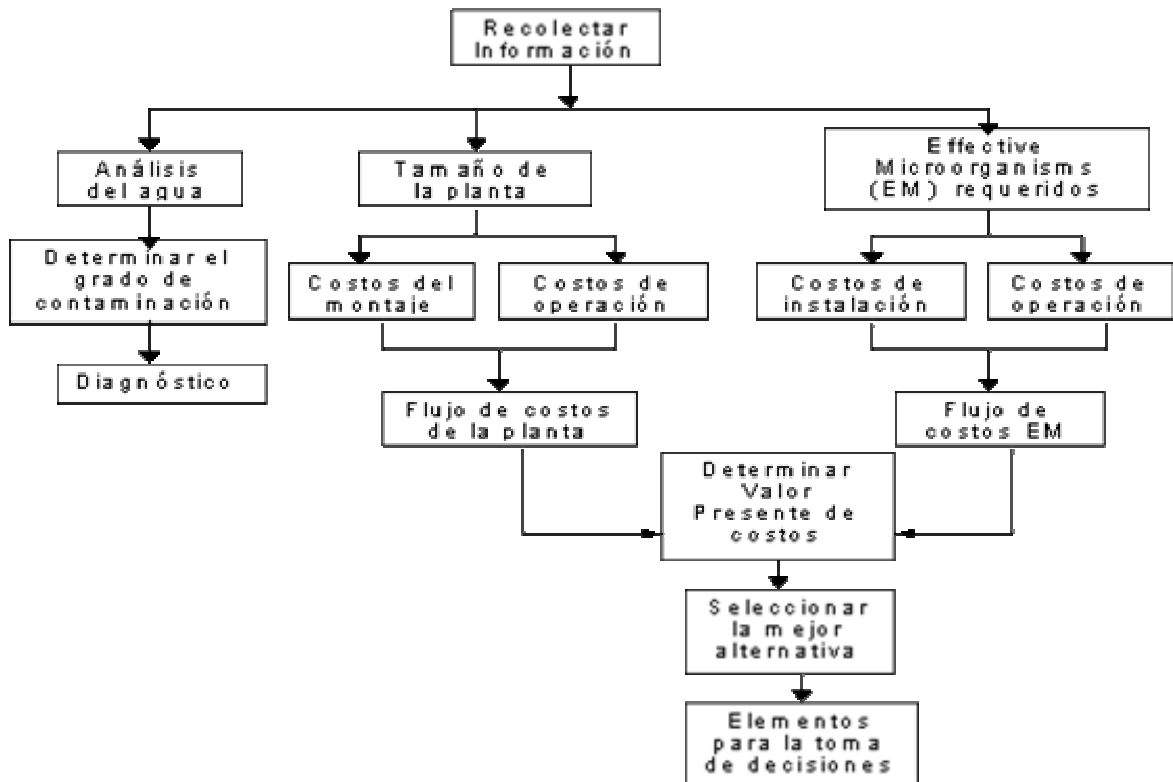
- ❖ Hay una fuerte contaminación de la Quebrada que tiene como causa principal las aguas negras o aguas servidas que caen sobre su cauce.
- ❖ Como solución se han esbozado dos alternativas, sin que existan estudios acabados sobre ninguna de ellas:
 - Construir una planta de tratamiento de las aguas servidas.
 - Colocar un dispositivo directamente en los tanques de los baños de las casas del casco urbano, a base de EM (Efficient Microorganisms) que envié microorganismos eficaces al cauce de las aguas de uso doméstico, de tal manera que lleguen ya descontaminadas a la Quebrada.

1.1.2 Esquema. Para resolver el problema de investigación se realizaron las siguientes operaciones:

- Recolección de la información necesaria para:
 - Análisis del grado de contaminación del agua de la quebrada Barichara.
 - Determinación del tamaño de la planta y de la demanda de EM.

- Cálculo de los costos de montaje y operación de la planta de tratamiento de aguas residuales y de los costos de instalación y operación de la tecnología EM.
- Cálculo del Valor Presente de los costos en ambas alternativas.
- Identificación de los beneficios tangibles e intangibles de las dos alternativas. En este caso se concluyó que los beneficios son los mismos en cualquiera de las alternativas. Estos beneficios se presentan en la Introducción de este trabajo.
- Con base en los criterios de evaluación se determina la mejor alternativa.

El siguiente esquema ilustra este procedimiento



1.1.3 Formulación. Teniendo en cuenta que las dos alternativas generan los mismos beneficios, la pregunta que se formula en la investigación es la siguiente: ¿qué alternativa de solución, entre una planta de tratamiento y un sistema de dispositivos orgánicos, es la más adecuada en términos de costos para la comunidad?

1.2 ALCANCE

La presente monografía consta de un diagnóstico del problema de contaminación de la Quebrada Barichara por aguas residuales; de un análisis de los costos involucrados en cada una de las dos alternativas y de la viabilidad económica y social de cada una de las dos alternativas que actualmente se están estudiando para la descontaminación de la Quebrada.

El análisis se hizo comparando los costos económicos que se generan en cada alternativa, con el fin de establecer cuál de ellas resulta mas viable para el municipio.

No existe ningún tipo de limitación en cuanto a la información requerida, pues los datos de los costos tanto de una como de otra alternativa, están disponibles en el mercado.

En el estudio no se tuvo en cuenta aspectos relacionados con la financiación de las alternativas, ni con las restricciones o disponibilidades presupuestales del municipio.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Por ser Barichara un municipio reconocido por su potencial turístico y por estar ubicado en una zona de naturaleza semiárida, la construcción de un

sistema de descontaminación de la quebrada resulta supremamente importante, ya que con ello se garantiza el suministro adecuado de agua en buen estado y se elimina un obstáculo que podría reducir su potencial turístico.

De otra parte, el estudio también se justifica debido a que una amplia población ubicada en las zonas rurales utiliza las aguas de la Quebrada para el riego de cultivos y para surtir los bebederos de los animales de cría. Al hacer el tratamiento de aguas se elimina una causa de enfermedades en la población y se garantiza la calidad de los productos agropecuarios.

Desde un punto de vista académico, este estudio permitió a sus autores aplicar una de las técnicas más utilizadas en las evaluaciones de proyectos sociales, cual es el análisis de la relación Beneficio/Costo.

Dando solución no solo al problema específico de Barichara, sino también planteando una metodología que podría ser de utilidad a otros municipios con las mismas características.

Con este estudio también se busca generar conciencia ecológica en los diferentes estamentos sociales del municipio, con el fin de involucrar a la comunidad en la solución de los problemas de la región y posibilitar procesos de desarrollo sostenible, los cuales son claves para enfrentar los retos de la competitividad a nivel nacional y mundial.

Por último, el estudio se constituirá en una herramienta clave para la toma de decisiones por parte de las autoridades municipales con respecto a la problemática señalada.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 General. Determinar, mediante la técnica de análisis de costo-beneficio, la mejor alternativa en términos económicos y sociales, para la solución de la contaminación a la que está sometida la Quebrada Barichara, a causa de las aguas servidas que van a parar en su cauce.

1.4.2 Específicos:

- Analizar la naturaleza y las posibilidades del análisis beneficio\costo como criterio de evaluación económica y social.
- Describir la situación y el grado de contaminación actual en el que se encuentra la quebrada Barichara.
- Identificar los beneficios asociados a la descontaminación de la quebrada Barichara.
- Identificar, evaluar y comparar los costos generados en cada una de las dos alternativas, en un horizonte de tiempo establecido por la vida útil de la planta de tratamiento, con el fin de determinar la de mayor viabilidad económica.
- Evaluar la funcionalidad de la implementación y operación de la alternativa seleccionada.

2. MARCOS REFERENCIALES

2.1 MARCO CONTEXTUAL

2.1.1. Antecedentes. Barichara, fue fundada por la familia Pradilla de la Parra en torno a la veneración de la virgen de la Piedra; el 19 de junio de 1752 el arzobispo Pedro Felipe de Arzúa confirmó la erección de la parroquia de Nuestra Señora de la Concepción y San Lorenzo Mártir de Barichara; el padre José Martín de Pradilla y Ayerbe fue su primer cura. El virrey Pedro de Mendinueta autorizó el 13 de septiembre de 1803 la jurisdicción del cabildo. Título de Villa de Vara Florida por la Junta Suprema del Socorro el 19 de junio de 1811, confirmado en 1824. Municipio en 1887. En mayo de 1975 recibió el calificativo de "El pueblito más lindo de Colombia" y mediante la resolución 005 de Junio 30 de 1975 fue declarada "Monumento Nacional". Barichara conserva intacta su arquitectura colonial, con casas y edificios pintados de blanco, gris, verde o azul y muchas fachadas elaboradas en piedra caliza. En efecto, este municipio es conocido por sus numerosos talleres donde se trabaja la piedra. Sus calles están pavimentadas en piedra; en la lengua de los Guanes, su nombre significa lugar de descanso y árboles florecientes. Este hermoso poblado de calles empedradas y balcones de madera es un oasis de paz.

El municipio se encuentra localizado a 110 kilómetros de Bucaramanga y a 20 kilómetros de San Gil se llega por vía pavimentada, a una altitud de 1.300 metros y con 21 grados de temperatura; Barichara ha sido protagonista de la historia Santandereana². Hace parte de la Provincia Guantán compuesta por San Gil, Aratoca, Barichara, Curití, Valle de San José, Encino, Coromoro,

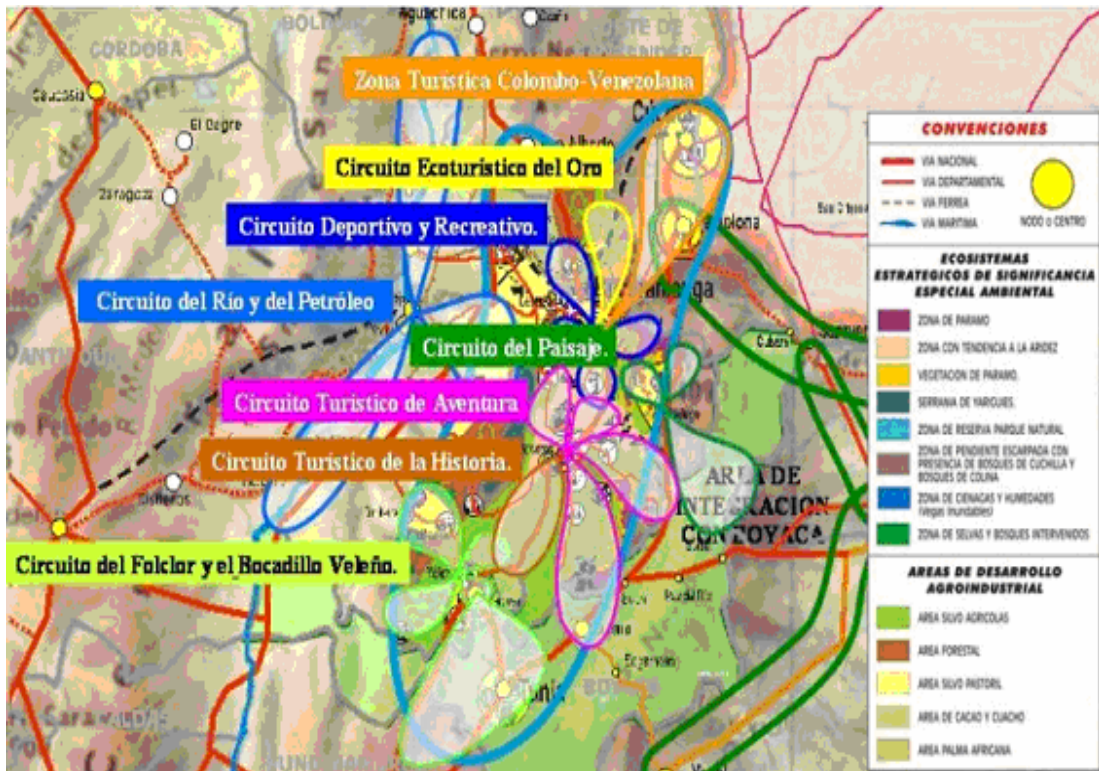
² wikipedia.org/wiki/Barichara

Cabrera, Páramo, Villanueva, Jordán, Pinchote, Charalá, Mogotes, San Joaquín, Onzaga, Ocamonte y Cepitá. San Gil, su capital, es líder regional en actividades de los sectores industrial, comercial, transporte, financiero y parador de servicios turísticos y hoteleros.³ Estos municipios a su vez hacen parte del circuito turístico de aventura que incluye además otros municipios como Cepitá y Jordán, donde se concentra la mayor parte del patrimonio paleontológico, espeleológico y buena parte del patrimonio cultural, herencia de los Guanes, con posibilidades de incursionar en el ecoturismo de tipo científico- investigativo sobre la biodiversidad, como el ofrecido por el proyecto del Parque Museo Guane en el Santuario de Flora y Fauna Altos Río Fonce y otras modalidades de Turismo de Aventura como: Canotaje, Rapell, Caminatas y Cabalgatas por los caminos de Lenguerke actividad que se viene desarrollando actualmente. Adicionalmente potenciar el mercado de la gastronomía y de las artesanías de fique, Piedra y algodón entre otras⁴. En el siguiente mapa turístico de Santander se observa la ubicación del circuito turístico de aventura.



³ Fuente : Secretarías de Planeación Municipal- POT

⁴ Fuente: Plan de Desarrollo Departamental SANTANDER EN SERIO 2004-2007



La población urbana de Barichara está estimada en 4.906 habitantes y en el área rural aproximadamente 11.741 para una población total de 16.648.⁵ Su principal actividad económica es la agricultura, allí se destacan productos como: tomate, cítricos, piña, tabaco y frijol entre otros. Sin embargo, en el casco urbano se destacan actividades como el turismo y la talla en piedra, en el primer caso debido a su carácter de pueblo colonial declarado monumento nacional, a este hecho contribuye también sus cercanías con Guane, que se destaca por su museo arqueológico (fósiles marinos); en el segundo caso lo destacable es la presencia de una tradición artesanal en piedra y madera, ejercicio desarrollado no solo por nativos, sino también por artesanos de otras regiones del país.

⁵ <http://www.cas.gov.co/pat.htm> (p. 15 de 119)

Entre los principales atractivos turísticos se encuentran: la Capilla de Santa Bárbara, el Parque de las Artes, la Casa de la Cultura, el Templo Principal, la Casa de Aquileo Parra, Monumento de la fe democrática, el corregimiento de Guane, la represa del Común, el Salto del Mico, el Parque Natural Chorreras. Estos dos últimos, están ligados de manera directa o indirecta a la quebrada Barichara, objeto de estudio de este trabajo.



Templo principal de Barichara (Foto de los autores)

2.1.2 La problemática ambiental en Barichara. Existe una gran preocupación con relación a la calidad y disponibilidad del recurso hídrico en el municipio de Barichara (Santander), debido al paulatino deterioro de la quebrada Barichara, única micro cuenca de agua propia del municipio.

La contaminación de la quebrada se explica principalmente porque las aguas negras que resultan del uso doméstico se vierten a ella directamente, sin ningún tipo de tratamiento. Esta contaminación no solo amenaza la existencia misma de la quebrada en una zona tradicionalmente semiárida con bajos índices de precipitación anuales (1.000 mm – 1.600 mm), sino que también tiene factores negativos en la población rural que utiliza sus aguas

para el riego de cultivos. Esta situación tiene efectos negativos en la medida en que es fuente de enfermedades que atacan principalmente a la población infantil y también por cuanto amenaza seriamente la existencia de la micro cuenca que da origen a la quebrada.

Es necesario por lo tanto generar soluciones rápidas y eficientes a esta problemática, no solo por razones de salud, sino también por tratarse de una región de escaso potencial hídrico. Se espera también que la solución que se de, mejore las condiciones generales del Municipio, ya que con ello se garantiza el suministro adecuado de agua en buen estado y se elimina un obstáculo que podría reducir su potencial turístico.

De esta manera, la principal fuente de contaminación de la quebrada son las aguas servidas de origen doméstico que se vierten por los conductos del alcantarillado al cauce de la quebrada. Las aguas residuales pueden ser clasificadas en los siguientes tipos: Residuos del quehacer habitacional, residuos humanos y animales, residuos industriales líquidos y aguas lluvias. En el caso de Barichara las aguas residuales que se vierten a la quebrada están relacionadas principalmente con el quehacer habitacional, los residuos humanos y las aguas lluvias.

Frente a esta problemática, las autoridades municipales y regionales han vislumbrado dos soluciones posibles:

1. Construir una planta de tratamiento que recoja las aguas servidas del Municipio y a partir de esta planta revertirla, ya descontaminada, a la quebrada. Estas plantas de tratamiento tienen un alto grado de efectividad, pero pueden resultar costosas y subutilizadas para municipios pequeños y medianos.

2. Implantar la tecnología EM (Efficient Microorganisms), lo cual se puede hacer mediante dos procedimientos: Uno, utilizando un dispositivo (ladrillo de barro, carbón de leña, estropajo o cualquier otro elemento que tenga la propiedad de absorber y mantener durante algún tiempo el líquido con EM), que se podrá colocar directamente en las cisternas de los baños y el otro, mediante una mezcla, realizada en forma casera, con EM y otros ingredientes, para ser vertida directamente en los sifones de las casas.

Esta última alternativa (tecnología EM) se ha venido discutiendo, a lo largo de varios años, por parte de las autoridades municipales y ambientales del departamento a tal punto que Barichara fue seleccionada como uno de los laboratorios para experimentar la efectividad del descontaminante EM; los resultados obtenidos fueron bastante exitosos. La bióloga colombiana Margarita Correa sostiene que “El éxito de esta práctica fue corroborado por la medición que realizó la Secretaría de Salud de Bucaramanga, y confirmó que los patógenos del pequeño acueducto de este municipio fueron llevados a cero.

Ahora los diez mil Baricharenses disfrutan de agua más pura, con una inversión de apenas 20.000 pesos mensuales que aporta en conjunto la comunidad, y que revela las ventajas de esta tecnología, que además de barata, rápida (en apenas un mes se constataron los resultados), no deja remanentes químicos”⁶. Sin embargo, su implantación podría presentar algunos inconvenientes relacionados con la gestión administrativa o con la carencia de conciencia en la comunidad con respecto a los problemas ambientales, situaciones que aparentemente no se presentarían con la instalación de una planta de tratamiento.

⁶ Castellanos, Yino. Tres bacterias para el nuevo siglo. UNP No. 72. Marzo 20 de 2005

2.2 MARCO CONCEPTUAL

Los términos y conceptos que con mayor frecuencia han sido utilizados en el presente trabajo, se definen a continuación con la finalidad de facilitar la lectura del documento⁷.

Aguas servidas: Se denomina aguas servidas a aquellas que resultan del uso doméstico o industrial del agua. Se les llama también aguas residuales, aguas negras o aguas cloacales, en la medida en que contiene material disuelto y en suspensión, luego de ser usada por una comunidad o industria

Ambiente aerobio: Proceso que requiere o no es destruido por la presencia de oxígeno.

Ambiente anaerobio: Proceso desarrollado en ausencia de oxígeno molecular.

Bacteria: Grupo de organismos microscópicos unicelulares, rígidos carentes de clorofila, que desempeñan una serie de procesos de tratamiento que incluyen oxidación biológica, fermentaciones, digestión, nitrificación y desnitrificación.

Beneficios económicos: Son los valores tangibles e intangibles que aumentan el bienestar de la sociedad y que se generan como resultado del montaje y puesta en marcha de un proyecto determinado

Biogás: Este gas natural biológico generado en las PTAR es una fuente renovable de energía, generalmente mal aprovechada, por desconocimiento

⁷ Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS - 2000

de los ingenieros a cargo del diseño, montaje, arranque y operación de estas plantas. El biogás se puede utilizar “crudo”, sin tratamiento alguno para casi todos los usos de combustión, en caldera o en estufas.

Carga de diseño: Producto del caudal por la concentración de un parámetro específico; se usa para dimensionar un proceso de tratamiento, en condiciones aceptables de operación. Tiene unidades de masa por unidad de tiempo, (M/T).

Carga orgánica: Producto de la concentración media de DBO por el caudal medio determinado en el mismo sitio; se expresa en kilogramos por día (kg/d).

Clarificador: Tanque de sedimentación rectangular o circular usado para remover sólidos sedimentables del agua residual.

Cloración: Aplicación de cloro, o compuestos de cloro, al agua residual para desinfección; en algunos casos se emplea para oxidación química o control de olores.

Coliformes: Bacterias gram negativas de forma alargada capaces de fermentar lactosa con producción de gas a la temperatura de 35 o 37°C (coliformes totales). Aquellas que tienen las mismas propiedades a la temperatura de 44 o 44.5°C se denominan coliformes fecales. Se utilizan como indicadores de contaminación biológica.

Combinado: Sistema de alcantarillado que recibe aguas lluvias y aguas residuales de origen doméstico y/o industrial.

Contaminación del agua: El agua pura es un recurso renovable, sin embargo puede llegar a estar tan contaminada por las actividades humanas, y ya no ser útil, sino más bien nociva. El agua es contaminada por agentes patógenos.- Bacterias, virus, protozoarios, parásitos que entran al agua provenientes de desechos orgánicos.

Contaminación del aire: La contaminación del aire es consecuencia de los escapes de gases de los motores de explosión, los aparatos domésticos de calefacción, las industrias, que son liberados en la atmósfera, ya sea como gases, vapores o partículas sólidas capaces de mantenerse en suspensión, con valores superiores a los normales, perjudican la vida y la salud, tanto del ser humano como de animales y plantas.

Contaminación del suelo: La erosión del suelo y la pérdida de las tierras de cultivo y los bosques reduce la capacidad de conservación de la humedad de los suelos y añade sedimentos a las corrientes de agua, los lagos y los embalses. Los problemas de erosión descritos están agravando el creciente problema mundial del abastecimiento de agua.

Costos económicos: Se refiere al valor económico de los recursos utilizados en la implementación de un proyecto. Desde el punto de vista de la evaluación económica, el concepto es similar al de costo de oportunidad, ya que la utilización de recursos de la economía en un determinado proyecto, implica una pérdida de algún beneficio por la no utilización de dichos recursos en otras actividades.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) ó Demanda de oxígeno: 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.

Demanda Química de Oxígeno (DQO): Medida de la cantidad de oxígeno requerido para oxidación química de la materia orgánica del agua residual, usando como oxidantes sales inorgánicas de permanganato o dicromato en un ambiente ácido y a altas temperaturas.

Desarenadores: Cámara diseñada para permitir la separación gravitacional de sólidos minerales (arena).

Descomposición anaerobia: Degradación de la materia orgánica en ausencia de oxígeno molecular por efecto de microorganismos. Usualmente va acompañada de la generación de ácidos y gas metano.

Deshidratación de lodos: Proceso de remoción del agua de lodos hasta formar una pasta.

Desinfección: Destrucción de bacterias y virus de origen fecal en las aguas residuales, mediante un agente desinfectante.

Digestión aerobia: Descomposición biológica de la materia orgánica de un lodo en presencia de oxígeno.

Digestión anaerobia: Descomposición biológica de la materia orgánica de un lodo en ausencia de oxígeno.

Disposición final: Disposición del efluente de una planta de tratamiento o de los lodos tratados.

Eficiencia de tratamiento: Relación entre la masa o concentración removida y la masa o concentración en el afluente, para un proceso o planta de tratamiento y un parámetro específico; normalmente se expresa en porcentaje.

(Efficient Microorganisms), EM: es un cultivo mixto de microorganismos naturales, cuyos principales componentes son las bacterias ácido lácticas, las bacterias fototróficas y levaduras.

Efluente final: Líquido que sale de una planta de tratamiento de aguas residuales.

Emisario: Canal o tubería que recibe las aguas residuales de un sistema de alcantarillado y las lleva a una planta de tratamiento o de una planta de tratamiento y las lleva hasta el punto de disposición final.

Equipos electrónicos de Aforo: Aquellos que sirven para medir el caudal utilizando sensores electrónicos del tipo Efecto Doppler para conductos parcialmente llenos, o sensores ultrasónicos de nivel en el caso de canales abiertos.

Filtro Anaerobio: Consiste en una columna llenada con varios tipos de medios sólidos usados para el tratamiento de la materia orgánica carbonácea en aguas residuales.

Filtro percolador: Tanque que contiene un lecho de material grueso, compuesto en la gran mayoría de los casos de materiales sintéticos o piedras de diversas formas, de alta relación área/volumen, sobre el cual se aplican las aguas residuales por medio de brazos distribuidores fijos o móviles. Este es un sistema de tratamiento aerobio.

Laguna aerobia: Término a veces utilizado para significar “laguna de alta producción de biomasa”. Lagunas de poca profundidad, que mantienen oxígeno disuelto (molecular) en todo el tirante de agua.

Laguna aireada: Estanque natural o artificial de tratamiento de aguas residuales en el cual se supe el abastecimiento de oxígeno por aireación mecánica o difusión de aire comprimido. Es una simplificación del proceso de lodos activados y según sus características se distinguen cuatro tipos de lagunas aireadas 1. Laguna aireada de mezcla completa, 2. laguna aireada facultativa, 3.laguna facultativa con agitación mecánica y 4. laguna de oxidación aireada.

Laguna anaerobia: Laguna con alta carga orgánica en la cual se efectúa el tratamiento en ausencia de oxígeno disuelto (molecular), con la producción de gas metano y otros gases como el sulfuro de hidrógeno (H₂S).

Laguna de alta producción de biomasa: Estanque de forma alargada, con un corto período de retención, profundidad reducida y con facilidades de mezcla, que tiene la finalidad de maximizar las condiciones de producción de algas.

Laguna de estabilización: Se entiende por lagunas de estabilización los estanques construidos en tierra, de poca profundidad (1-4 m) y períodos de retención considerable (1-40 días). En ellas se realizan de forma espontánea procesos físicos, químicos, bioquímicos y biológicos, conocidos con el nombre de auto depuración o estabilización natural. La finalidad de este proceso es entregar un efluente de características múltiples establecidas (DBO, DQO, OD, SS, algas, nutrientes, parásitos, entero bacterias, coliformes, etc.).

Laguna de maduración: Laguna de estabilización diseñada para tratar efluente secundario o agua residual previamente tratada por un sistema de lagunas (anaerobia - facultativa, aireada - facultativa o primaria - secundaria). Originalmente concebida para reducir la población bacteriana.

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, en presencia de oxígeno; en los estratos inferiores se produce una biodegradación anaerobia de los sólidos sedimentables.

Lechos de secado: Dispositivos que eliminan una cantidad de agua suficiente de lodos para que puedan ser manejados como material sólido.

Lodos activados: Procesos de tratamiento biológico de aguas residuales en ambiente químico aerobio, donde las aguas residuales son aireadas en un tanque que contiene una alta concentración de microorganismos degradadores. Esta alta concentración de microorganismos se logra con un sedimentador que retiene los flóculos biológicos y los retorna al tanque aireado.

Medio ambiente: es todo aquello que nos rodea y que debemos cuidar para mantener limpia nuestra ciudad, colegio, hogar, etc. El medio ambiente se compone de elementos abióticos (energía solar, suelo, agua y aire) y bióticos (organismos vivos) que integran la delgada capa de la tierra llamada biosfera, sustento y hogar de los seres vivos.

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.

Oxígeno disuelto: Concentración de oxígeno medida en un líquido, por debajo de la saturación. Normalmente se expresa en mg/L.

Pretratamiento: Procesos de tratamiento localizados antes del tratamiento primario.

Proceso biológico: Proceso en el cual las bacterias y otros microorganismos asimilan la materia orgánica del desecho, para estabilizar el desecho e incrementar la población de microorganismos (lodos activados, filtros percoladores, digestión, etc.).

Procesos anaerobios de contacto: Los lodos del digestor de alta tasa son sedimentados en un digestor de segunda etapa. El digestor de segunda etapa opera como un tanque de sedimentación que permite la remoción de microorganismos del efluente. Los organismos, como en un proceso de lodos activados, retornan al digestor y se siembran en agua residual cruda.

Proyecto: Ejecución de un número de actividades temporales caracterizadas por tener un inicio y una terminación, no ser repetitivas y buscar el logro de una meta específica a corto plazo; con el empleo de recursos humanos, técnicos y económicos.

Reactor anaerobio de flujo ascendente (UASB): Proceso continuo de tratamiento anaerobio de aguas residuales en el cual el desecho circula de abajo hacia arriba a través de un manto de lodos o filtro, para estabilizar parcialmente de la materia orgánica.

El desecho se retira del proceso en la parte superior; normalmente se obtiene gas como subproducto del proceso.

Reja gruesa: Por lo general, de barras paralelas de separación uniforme (4 a 10 cm.), utilizado para remover sólidos flotantes de gran tamaño, aguas arriba de bombas de gran capacidad.

Rejilla media: Artefacto de barras paralelas de separación uniforme (2 a 4 cm), utilizado para remover sólidos flotantes y en suspensión. Son las más empleadas en el tratamiento preliminar.

Requisitos de oxígeno: Cantidad de oxígeno requerida en la estabilización aerobia de la materia orgánica para reproducción o síntesis celular y metabolismo endógeno.

Sedimentación: Proceso físico de clarificación de las aguas residuales por efecto de la gravedad. Junto con los sólidos sedimentables precipita materia orgánica del tipo putrescible.

Sólidos activos: Parte de los sólidos volátiles en suspensión que representan los microorganismos.

Sólidos groseros: Se le asigna este nombre a los sólidos más grandes como trapos, plásticos, entre otros que son arrastrados por las aguas residuales.

Sólidos no sedimentables: Materia sólida que no sedimenta en un período de 1 hora, generalmente.

Sólidos sedimentables: Materia sólida que sedimenta en un periodo de 1 hora.

Tanque de aireación: Cámara usada para inyectar aire dentro del agua.

Tanque de compensación: Tanque utilizado para almacenar y homogeneizar el desecho, eliminando las descargas violentas

Tasas retributivas (decreto 3100 de octubre 30 de 2003) Es aquella que cobra la autoridad ambiental a las personas naturales o jurídicas, de derecho público o privado, por la utilización directa del recurso como receptor de vertimientos puntuales y sus consecuencias nocivas, originados en actividades antropicas o propiciados por el hombre, actividades económicas o de servicios, sean o no lucrativas.

Tratamiento anaerobio: Estabilización de un desecho por acción de microorganismos en ausencia de oxígeno.

Tratamiento avanzado: Proceso de tratamiento fisicoquímico o biológico usado para alcanzar un grado de tratamiento superior al de tratamiento secundario. Puede implicar la remoción de varios parámetros, como remoción de sólidos en suspensión, complejos orgánicos disueltos, compuestos inorgánicos disueltos o nutrientes.

Tratamiento biológico: Procesos de tratamiento en los cuales se intensifican la acción natural de los microorganismos para estabilizar la materia orgánica presente. Usualmente se utilizan para la remoción de material orgánico disuelto.

Tratamiento convencional: Procesos de tratamiento bien conocidos y utilizados en la práctica. Generalmente se refiere a procesos de tratamiento primario o secundario. Se excluyen los procesos de tratamiento terciario o avanzado.

Tratamiento preparatorio: 1. Acondicionamiento de un desecho antes de ser descargado en el sistema de alcantarillado. 2. Procesos de tratamiento localizados antes del tratamiento primario (desmenuzado, Cribas, desarenadores, etc.). Preparan el agua para el tratamiento posterior.

Tratamiento primario: Tratamiento en el que se remueve una porción de los sólidos suspendidos y de la materia orgánica del agua residual. Esta remoción normalmente es realizada por operaciones físicas como la sedimentación. El efluente del tratamiento primario usualmente contiene alto contenido de materia orgánica y una relativamente alta DBO.

Tratamiento secundario: Es aquel directamente encargado de la remoción de la materia orgánica y los sólidos suspendidos.

UASB: (Ver reactor anaerobio de flujo ascendente).

Vertederos: Son dispositivos que permiten determinar el caudal. Poseen una ecuación general que depende de la gravedad, de su geometría, de su espesor de pared. La variable independiente será siempre la altura de la lámina de agua sobre el nivel de referencia.

De esta forma cualquier vertedero puede calibrarse mediante una curva de calibración del mismo con base en diferentes alturas de la lámina de agua de los diferentes caudales.

Volumétrico: El aforo volumétrico consiste en recoger en un tiempo específico una cantidad de material que se está aforando o recoger un volumen específico midiendo el tiempo utilizado en la recolección de este. Es útil para el aforo de vertimientos puntuales de pequeño tamaño.

2.3 MARCO TEÓRICO

2.3.1 Aguas Residuales y Contaminación. Las aguas servidas o aguas negras o residuales son aquellas que resultan del uso del agua en los quehaceres doméstico o en las actividades comerciales, agrícolas e industriales. Se les llama residuales ya que una vez que ha sido usada el agua, deja de ser apta para su consumo o para ser utilizadas en alguna actividad productiva, como por ejemplo en las labores agrícolas o en actividades domésticas como la limpieza de enseres de la cocina, el aseo personal o las actividades fisiológicas (Diccionario Wikipedia).

En la mayoría de los municipios y centros de concentración humana estas aguas son transportadas por sistemas de alcantarillas, lo que comúnmente se conoce como colectores, pero su destino final puede ser un afluente hídrico o algún otro receptor, generando problemas de contaminación de las aguas y del aire. Sin embargo, hoy en día ya muchas ciudades y pequeños municipios del mundo están utilizando procedimientos técnicos que eliminan en un alto porcentaje los constituyentes físicos, químicos y biológicos propios de las aguas contaminadas. Esto es importante ya que desde el punto de vista de la salud pública, las aguas servidas pueden transportar numerosos microorganismos causantes de enfermedades, denominados Patógenos. Desde el punto de vista de la salud pública se encuentra aceptable un agua servida que contiene menos de 1.000 coliformes totales por 100 ml y con una DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) inferior a 50 mg/lit⁸.

Algunos autores plantean la existencia de diferencias entre aguas servidas y aguas residuales⁹. Las primeras serían aquellas que se derivan del uso

⁸ : Diccionario Wikipedia en www.es.wikipedia.org/wiki/coliformes

⁹ Véase por ejemplo a Crites, Ron y Tchobanoglous George. Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas poblaciones.

doméstico y las segundas corresponderían a la mezcla de aguas domésticas e industriales. En todo caso, están constituidas por todas aquellas aguas que son conducidas por el alcantarillado e incluyen, a veces, las aguas de lluvias y las infiltraciones de agua del terreno.

De acuerdo con el “Manual de Ingeniería Sostenible del Agua”¹⁰, las Aguas Residuales (AR) se definen como aguas usadas que, procedentes de viviendas e instalaciones de servicios industriales, sanitarios o agrícolas, se evacúan por las instalaciones públicas o privadas de saneamiento, a los distintos medios receptores, diluidas o no, con cualquier agua subterránea, superficial o pluvial que se le haya incorporado.

Estos receptores pueden ser afluentes fluviales (ríos o quebradas) o aguas quietas como los lagos o las lagunas. Los vertidos residuales arrastran compuestos con los que las aguas han estado en contacto. Se trata de compuestos orgánicos e inorgánicos que pueden alterarse en el río por vía física, química o biológica (NH₄, fenoles, Materia Orgánica).

Las principales fuentes de esta agua provienen de:

- Servicios domésticos y públicos
- Limpieza de locales y automóviles
- Drenado de Aguas Pluviales.
- Industrias y locales comerciales

¹⁰ Libro electrónico “Manual de Ingeniería Sostenible del Agua” en www.wikibooks.org/wiki

Dentro de las principales características físico-químicos de las AR se destacan:

- La Temperatura oscila entre 10-20 Grados.
- Además de las cargas contaminantes en Materias en suspensión y Materias Orgánicas, las AR contienen otros muchos compuestos como nutrientes (N y P), Cloruros, detergentes.

Los efectos nocivos de las aguas residuales son de diversa naturaleza: Epidemias ocasionadas por la presencia de bacterias, virus y parásitos; así mismo, las aguas servidas pueden causar la muerte de la fauna, especialmente peces, cuando son descargadas en fuentes de agua debido a que los patógenos contenidos por dichas aguas consumen oxígeno; igualmente pueden contaminar algunos cultivos de vegetales, en especial aquellos que crecen a ras de tierra y se consumen crudas como la lechuga, el repollo y el perejil, entre otros. Por ultimo, conducir aguas contaminadas a los afluentes hídricos (ríos o quebradas) a través del tiempo, puede amenazar la existencia misma del afluente.

La característica esencial de las aguas servidas es que contienen sólidos en suspensión y solución. Los sólidos pueden clasificarse en orgánicos e inorgánicos¹¹.

Los inorgánicos contienen algunas sustancias nocivas como arsénico, cianuro, cadmio, cromo y zinc, entre otros. Mientras que los orgánicos contienen elementos nitrogenados y no nitrogenados entre los que se destacan la celulosa, las grasas y los jabones. Por ultimo, la contaminación

¹¹ www.es.wikipedia.org/wiki/coliformes.

se mide a partir de la determinación de sus contenidos en coliformes tanto totales como fecales (unidades por cada 100mL); para establecer que tan contaminada está el agua se compara con los máximos permitidos.

La contaminación de las aguas se origina por dos causas, una de ellas es de carácter natural, mientras que la otra, la que mas incide, tiene su origen en las actividades humanas. Dentro de estas ultimas, se incluyen no solo las domesticas, sino también aquellas que tienen que ver con el desarrollo de actividades económicas, en especial la industria, y de navegación.

En el caso de las causas naturales, elementos como el mercurio que se encuentra muy cerca de la superficie y algunos otros hidrocarburos pueden ser arrastrados por las aguas lluvias hacia las corrientes fluviales y así generar procesos de contaminación. Normalmente las fuentes de contaminación natural son muy dispersas y no presentan concentraciones altas de polución, de tal manera que su impacto sobre la contaminación de las aguas es relativamente pequeño. Situación contraria es la que corresponde a la contaminación de origen humano ya que la población, al concentrarse en zonas determinadas y especificas (grandes ciudades y, en general, centros urbanos), deriva de sus actividades domésticas y económicas, un volumen significativo de factores contaminantes, ocasionando en las aguas daños mucho mas peligrosos que los que se generan por la contaminación natural.

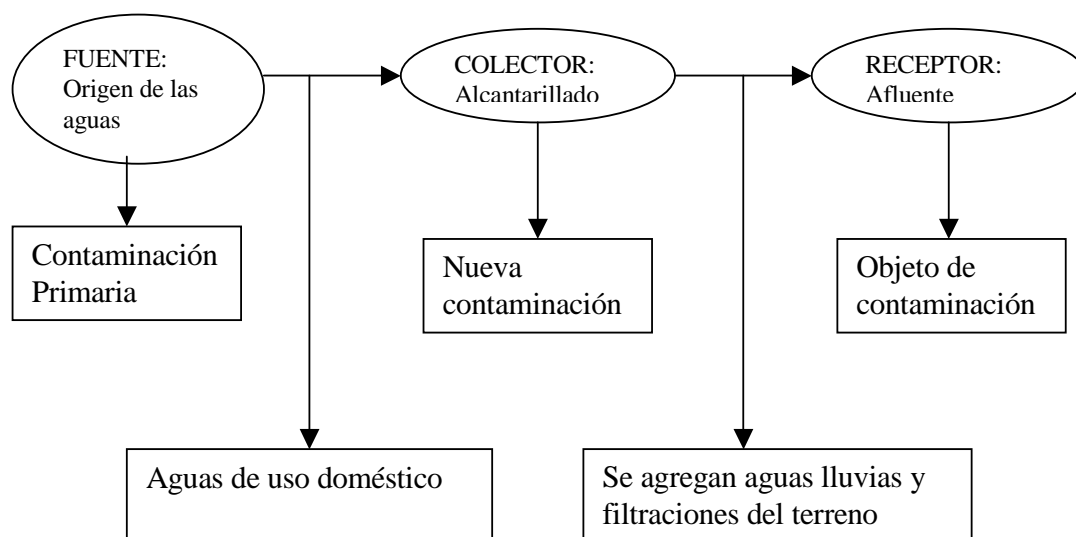
La contaminación antropogénica, aquella que corresponde a las actividades humanas, se deriva a partir de cuatro focos:

- ❖ La industria, que genera residuos sólidos y líquidos a partir de sustancias químicas. Dentro de los mas importantes contaminantes que se generan de la actividad industria se pueden señalar los siguientes: Sólidos en

suspensión, materia orgánica, pH, cianuros, hidrocarburos, cromo, taninos, tensoactivos, sulfuros, colorantes, grasas, disolventes orgánicos, ácidos acético y fórmico, sólidos en suspensión, aceites lubricantes, pinturas y aguas residuales, entre muchos otros.

- ❖ La actividad doméstica que produce principalmente residuos orgánicos, pero el alcantarillado arrastra además todo tipo de sustancias: emisiones de los automóviles (hidrocarburos, plomo, otros metales, etc.), sales, ácidos. Las aguas residuales que se generan de la actividad doméstica, se les conoce también como vertidos humanos.
- ❖ La navegación. Produce diferentes tipos de contaminación, especialmente con hidrocarburos. Los vertidos de petróleo, sean accidentales o no, provocan importantes daños ecológicos. Según el estudio realizado por el Consejo Nacional de Investigación de los EEUU, en 1985 se vertieron al mar unas 3.200.000 Toneladas de hidrocarburos¹².

Figura 1. Origen – Cauce y Destino de las Aguas Residuales



¹² Véase, <http://www.induambiental.cl/1615/propertyvalue-37258.html>

- ❖ Cuando el receptor es un afluente de agua, éste se convierte en el objeto de contaminación, mientras que las aguas residuales en el objeto contaminante.
- ❖ En lo que respecta a las sustancias contaminantes, en el libro Ciencias del Agua y del Ambiente, se identifican ocho grupos de factores contaminantes:

Microorganismos Patógenos. Estos se conforman por diferentes tipos de bacterias, virus, protozoos y otros organismos que transmiten enfermedades como el cólera, tifus, gastroenteritis diversas, hepatitis, etc. Una manera de medir el grado de contaminación del agua con estos patógenos es a partir del cálculo del número de bacterias coliformes que están presentes en el agua.

Desechos orgánicos. Son el conjunto de residuos orgánicos producidos por los seres humanos, ganado, etc. los materiales que de aquí se derivan se descomponen por la acción de bacterias aeróbicas, es decir en procesos con consumo de oxígeno. Cuando este tipo de desechos se encuentran en exceso, la proliferación de bacterias agota el oxígeno, y ya no pueden vivir en estas aguas peces y otros seres vivos que necesitan oxígeno. Los índices mas utilizados para medir el grado de contaminación por desechos orgánicos son:

- La cantidad de oxígeno disuelto (OD), en agua,
- La demanda biológica de oxígeno (DBO)

Sustancias químicas inorgánicas. Aquí se incluyen metales tóxicos (mercurio y el plomo), los ácidos, sales. En grandes cantidades producen graves daños en los seres vivos, disminuyen los rendimientos agrícolas y corroen los equipos que se usan para trabajar con el agua.

Nutrientes vegetales inorgánicos. Se trata básicamente de Nitratos y fosfatos que, aunque son sustancias solubles en agua que las plantas necesitan para su desarrollo, si se encuentran en cantidad excesiva provocan el crecimiento desmesurado de algas y otros organismos ocasionando la Eutrofización¹³ de las aguas. Cuando estas algas y otros vegetales mueren, al ser descompuestos por los microorganismos, se agota el oxígeno y se hace imposible la vida de otros seres vivos. El resultado es un agua maloliente e inutilizable.

Compuestos orgánicos. Se originan en muchos productos fabricados por el hombre que poseen estructura molecular compleja difícil de degradar por los microorganismos; se trata de productos como el petróleo, la gasolina, los plásticos, los disolventes, y los detergentes, entre otros.

Sedimentos y materiales suspendidos. Muchas partículas arrancadas del suelo y arrastradas a las aguas, junto con otros materiales que hay en suspensión en las aguas, son, en términos de masa total, la mayor fuente de contaminación del agua. La turbidez que provocan en el agua dificulta la vida de algunos organismos, y los sedimentos que se van acumulando destruyen sitios de alimentación o desove de los peces, rellenan lagos o pantanos y obstruyen canales, ríos y puertos.

Sustancias radiactivas. Las cuales pueden estar presentes en el agua y, a veces, se pueden ir acumulando a lo largo de las cadenas tróficas, alcanzando concentraciones considerablemente más altas en algunos tejidos vivos que las que tenían en el agua.

¹³ La eutrofización es el proceso en el que el agua se enriquece de compuestos naturales estimulando el crecimiento de algas y bacterias en la superficie. Estas provocan la turbiedad del agua, al punto de no dejar pasar la luz e impedir la fotosíntesis para que subsista la vegetación acuática que se encuentra en el fondo, la cual es refugio de variadas especies de peces y crustáceos (<http://www.induambiental.cl/1615/propertyvalue-37258.html>).

Contaminación térmica. El agua caliente liberada por centrales de energía o procesos industriales eleva, en ocasiones, la temperatura de ríos o embalses con lo que disminuye su capacidad de contener oxígeno y afecta a la vida de los organismos.

En síntesis, la principal característica de estos factores contaminantes es la de agotar el oxígeno del agua, generando así procesos de deterioro de la calidad de la misma.

2.3.2 Análisis Costo/Beneficio. El análisis Costo-Beneficio es una técnica que permite determinar la factibilidad de diferentes alternativas planteadas o del proyecto a ser desarrollado. El objetivo de esta técnica, es el de identificar y calcular los costos en los que se incurre en la realización de un proyecto cualquiera, y a su vez comparar dichos costos con los beneficios esperados por la realización de dicho proyecto.

La utilidad de este tipo herramienta es la siguiente¹⁴:

- Permite valorar la necesidad y oportunidad de acometer la realización de un proyecto.
- Permite seleccionar la alternativa más beneficiosa para la comunidad por realización de un proyecto.
- Por último, permite estimar adecuadamente los recursos económicos necesarios, durante el periodo requerido por el proyecto tanto en su fase de montaje, como en la fase de operación.

¹⁴ Un análisis detallado de la relación Costo/Beneficio se puede ver en Musgrave Richard. Hacienda Publica, Quinta Edición Capitulo 9.

Es una técnica de análisis para determinar, entre dos o más proyectos, cuál es el más conveniente, en términos de beneficios netos. La técnica se puede extender al análisis de los costos, cuando los beneficios de los diferentes proyectos resultan muy similares.

Tal como sucede con el concepto de costo de oportunidad, la relación Beneficio-Costo es una herramienta de mucha utilidad para evaluar proyectos públicos y privados. Sin embargo, su aplicación ha estado mas extendida en el campo de lo público, facilita a su vez la toma de decisiones con respecto al uso eficiente de los recursos.

El primer requerimiento para utilizar este tipo de análisis es la identificación de los costos y de los beneficios de un proyecto o de una alternativa de inversión cualquiera.

Para su medición se pueden utilizar valores monetarios aún cuando muchos elementos del costo o de los beneficios no tengan relación con el dinero; por ejemplo, la construcción de una nueva autopista deriva en beneficios tan variados como la disminución en el tiempo de desplazamiento, el ahorro de gasolina o incluso la disponibilidad de tiempo para hacer una siesta al medio día; en el mismo sentido, muchos beneficios pueden ser de carácter subjetivo como por ejemplo el embellecimiento que en el paisaje ocasiona la obra, otros son tangibles pero de difícil valoración en términos monetarios como por ejemplo, la disminución de la contaminación.

De otra parte, a nivel de los costos hay que considerar, además de los costos habituales (mano de obra, materia prima etc.), aquellos derivados del proyecto como la contaminación o la destrucción de la fauna.

Existen dos métodos para medir la relación Beneficio-Costo¹⁵:

- Por la diferencia, es decir, si $B(x)$ representan los beneficios del proyecto x y $C(x)$ los costos, entonces el proyecto más conveniente será aquel que tenga la mayor diferencia $[B(x) - C(x)]$. A esto se reconoce como beneficio neto.
- Por el cociente, es decir, el proyecto más atractivo para una empresa o para una sociedad será aquel que arroje el mayor valor $B(x)/C(x)$. La relación Beneficio-Costo en sus dos dimensiones, beneficios netos y cociente beneficios /costos, no es el único método que existe para evaluar proyectos; podría incluso decirse que esta relación es más conveniente cuando tanto los costos como los beneficios se pueden expresar sin mucha dificultad en términos monetarios¹⁶. Ahora bien, cuando por las características de los proyectos, los beneficios son similares para distintas alternativas y/o cuando estos no son susceptibles de expresarse en términos monetarios, se pueden utilizar otros métodos: Uno de ellos es el de Costo-Eficiencia, cuyo objetivo es el de determinar cuál, entre varios proyectos, logra los objetivos deseados (beneficios) con el mínimo costo; el otro es el de Costo-Efectividad con el cual se busca evaluar los objetivos de un proyecto mediante la comparación entre costos monetarios y productos no monetarios.

En ambos casos (Costo-eficiencia y Costo-efectividad) se utilizan como indicadores de evaluación los siguientes¹⁷:

¹⁵ Ibid, capítulo 9.

¹⁶ Moreno Álvaro. Valoración Económica de Proyectos con Impacto Ambiental, página 16.

¹⁷ Todos los detalles sobre estos métodos y sus indicadores de evaluación se encuentran en Ibid, páginas 17 a 20.

- ❖ El costo mínimo, el cual resulta de gran utilidad para comparar diferentes alternativas de proyectos con beneficios similares o idénticos.
- ❖ El costo por unidad, valido cuando los beneficios de los proyectos alternativos no son iguales.
- ❖ El costo anual equivalente, permite expresar todos los costos en términos de una cuota anual; al igual que en el indicador de costo mínimo, es útil para cuando los beneficios de los proyectos alternativos son idénticos.

En todos estos métodos la unidad de medida básica para determinar la viabilidad de los proyectos es el Valor presente de los Costos (VPC).

Para el caso específico de este análisis en el que se comparan tres proyectos alternativos con el objetivo único de descontaminar la Quebrada de Barichara y cuyos beneficios son, en términos generales los mismos, se utilizará el método de Costo-Eficiencia de costo mínimo.

2. 4 MARCO LEGAL

Antecedentes Internacionales. Existen antecedentes internacionales que sirven de base o han sido tenidos en cuenta en la legislación Colombiana. Hace 32 años en Estocolmo se acordó sobre la necesidad urgente de resolver el problema del deterioro ambiental, hace 12 años en la conferencia de Naciones Unidas sobre medio ambiente y desarrollo celebrado en Río de Janeiro, se acordó que la protección del ambiente y el desarrollo social y económico son fundamentales para el desarrollo sostenible; basado en los principios de Río, para lograr tal desarrollo se adoptó el programa global agenda 21 y declaración de Río. La cumbre de Río fue un hito importante que estableció una nueva agenda para el desarrollo sustentable.

En la cumbre de Johannesburgo se logró reunir gran cantidad de pueblos y visiones en una búsqueda constructiva de un camino común, hacia un mundo que respete e implemente la visión del desarrollo sustentable.

Antecedentes Nacionales. El artículo 80 de la Constitución Nacional establece como deber del Estado el de la planificación del manejo y aprovechamiento de los recursos naturales para garantizar un desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución.

La ley 99 de 1993, fija como principio general que el manejo ambiental del país será descentralizado, democrático y participativo y que en las instituciones del Estado se estructuraran teniendo como base, criterios de manejo integral del medio ambiente y su Inter-relación con los procesos de planificación económica social y física.

Decreto 1768 de 1994, define la planificación ambiental como la herramienta prioritaria y fundamental para el cumplimiento de los objetivos de las corporaciones y para garantizar la continuidad de las acciones; ello deberá realizarse de manera armónica y coherente con los planes regionales y locales.

Decreto 1865 de 1994, determina que las corporaciones deben elaborar los planes de gestión ambiental en armonía con la planificación ambiental de los departamentos, distritos y municipios.

Decreto 1200 del 2004, modifica los decretos 1768 y 1865 de 1.994 establece los instrumentos de planificación ambiental con que cuentan las corporaciones a largo, mediano y corto plazo.

Los aspectos generales sobre el manejo del agua en Colombia se encuentran registrados en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. Este reglamento tiene por objeto señalar los requisitos técnicos que deben cumplir las obras y procedimientos propios del sector de agua potable y saneamiento básico y sus actividades complementarias señalados en la Ley 142 de 1994 y adoptado como reglamento técnico para el sector mediante la Resolución 1096 de 2000 del Ministerio de Desarrollo Económico.

La ley 99/93, faculta a las Corporaciones Autónomas Regionales para ejecutar proyectos de tratamiento de aguas residuales municipales coordinadamente con los entes territoriales, colocándolas en posición de juez y parte a la luz de sus funciones de control y vigilancia.

A partir del 2002, las funciones de control, vigilancia y ejecución de programas relacionados con el manejo del agua, están a cargo del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Territorial. Este Ministerio, reglamenta la Ley 99 de 1993, a partir de los siguientes artículos:

Artículo 1. Objeto. La presente ley establece el régimen para la gestión integral de los recursos hídricos y comprende todas las aguas, en cualquiera de sus estados y formas, que se encuentren en la jurisdicción del estado colombiano.

Artículo 2. Principios. Además de los principios generales ambientales establecidos en el artículo primero de la Ley 99 de 1993, son principios básicos a los cuales debe obedecer la gestión integral de los recursos hídricos, los siguientes:

- *Responsabilidad común.* Corresponde al estado y a los particulares propender por la protección, conservación, renovación y recuperación de los recursos hídricos.
- *Prioridad para el consumo humano.* El agua debe garantizar la subsistencia humana y por tanto su uso prioritario es para satisfacer las necesidades humanas básicas, en condiciones de equidad.
- *Desarrollo sostenible.* La gestión y uso del agua debe hacerse dentro del concepto de desarrollo sostenible, en los términos previstos en el artículo tercero de la Ley 99 de 1993.
- *Transparencia.* La gestión del recurso hídrico por parte de las autoridades ambientales competentes debe ser pública y objetiva.
- *Equidad:* Todas las personas tienen derecho a acceder al uso del agua, sin ningún tipo de discriminación.
- *Eficiencia.* En la gestión del agua se debe buscar la racionalidad en la asignación y uso.
- *Descentralización.* Las autoridades ambientales regionales y distritales competentes serán las responsables de administrar integralmente el recurso hídrico, incluyendo la fijación de las tarifas de los instrumentos económicos y la aplicación de los instrumentos financieros.
- *Cubrimiento de los costos ambientales.* Los instrumentos económicos que se utilicen deberán diseñarse y aplicarse de manera que permitan cubrir los costos eficientes asociados con la administración, manejo,

conservación, mantenimiento y restauración de los recursos hídricos y el control de la contaminación.

- *Simplicidad.* Los instrumentos para la gestión integral del recurso hídrico deben ser de fácil aplicación y control.
- *Contaminador - pagador.* Quien directa o indirectamente dañe el ambiente o cree condiciones conducentes al daño deberá cubrir los costos necesarios para la recuperación del recurso.
- *Preservación y conservación de los recursos hidrobiológicos.* El uso del agua debe ser compatible con el objetivo de garantizar la vida de los ecosistemas asociados y la reproducción, supervivencia, crecimiento, extracción y aprovechamiento sostenible de especies hidrobiológicas en cualquiera de sus formas.
- *Solidaridad de cuenca.* Los recursos recaudados por las autoridades ambientales deben ser aplicados de acuerdo con las prioridades establecidas de conservación, recuperación, renovación y manejo de la cuenca hidrográfica respectiva, con independencia de la jurisdicción regional en la cual se hayan causado.

En cuanto a los aspectos relacionados con la contaminación de las aguas, además de los principios establecidos en el artículo 2 de la ley 99 de 1993, se cuenta con los siguientes instrumentos jurídicos:

- Decreto 1594 de 1984 sobre Vertimientos de aguas residuales. El cual reglamentó parcialmente lo relacionado con los usos del agua y los residuos líquidos. Este decreto establece límites permisibles para las descargas de aguas residuales, basados en la remoción en porcentaje de

carga de contaminantes como DBO, SST, grasas y aceites. El decreto implica conocer la capacidad de asimilación del recurso hídrico, para fijar metas de reducción de la carga contaminante y reformular las norma de vertimientos.

- Decreto 901 de 1997. Fortalecer la implementación y aplicación de los Instrumentos económicos para el uso racional del agua y el control de la contaminación incluyendo otros parámetros y consolidando los ya existentes. Este instrumento permite establecer y lograr metas de reducción de la contaminación aportada a los cuerpos hídricos, de manera concertada con los sectores y agentes contaminantes.

3. METODOLOGIA

Para analizar el grado de contaminación de las aguas de la quebrada Barichara se tomaron tres muestras puntuales así:

Muestra 1 en el Balneario Chorreras, ubicado aproximadamente a 500 metros antes de llegar al Municipio, el cual dio como resultado: 3 coliformes totales y cero (0) coliformes fecales. Según la observación dada por el laboratorio CONTROL CALIDAD LTDA, la muestra analizada no es apta para el consumo humano ya que se encuentra fuera de los límites de calidad microbiológica establecidos por las entidades sanitarias en el parámetro de coliformes totales, según Decreto 475 de 1998 para agua potable.

Muestra 2 tomada 1 kilómetro aguas abajo, en Puente Grande área urbana de Barichara, con el siguiente resultado: más de 2400 Coliformes totales y 240 coliformes fecales, esta muestra se encuentra dentro de los límites permitidos para aguas crudas establecidos por las autoridades sanitarias, según Decreto 1594 de 1984, que indica que para su potabilización y consumo requiere tratamiento convencional.

Muestra 3 en el sitio de descarga del emisario final con un resultado de 4300 coliformes totales y 4300 coliformes fecales la cual muestra un alto grado de contaminación.

Para solucionar la contaminación producida por las aguas servidas, se identificaron dos proyectos alternativos:

- Uno, la planta de tratamiento que ya viene utilizándose en varios centros urbanos de Colombia.

- Dos, la tecnología EM, que aunque en Colombia aún no se ha utilizado formalmente, sí se han realizado experimentos en varios sitios del país entre ellos en el acueducto de Barichara¹⁸. Esta última alternativa se puede abordar desde dos perspectivas:

1. Utilizando un dispositivo (ladrillo) activado con EM y otras sustancias.
2. Utilizando una preparación casera que consiste en una mezcla de EM con el agua que queda después de lavar el arroz.

De esta manera, la evaluación se realiza para tres alternativas: Planta de Tratamiento, Dispositivo activado con EM y Mezcla casera preparada con EM. Se parte del criterio de que los tres proyectos generan los mismos beneficios, los cuales son principalmente la descontaminación de la quebrada y la eliminación de focos de enfermedad en la población.

Es cierto que la planta de tratamiento puede generar otros beneficios adicionales como por ejemplo la obtención de subproductos como el Biogás; sin embargo, esta posibilidad no ha sido considerada ya que el volumen de aguas a tratar no es lo suficientemente grande como para generar volúmenes significativos de subproductos, pues se trata de un municipio pequeño cuya población no excederá los 7000 habitantes en los próximos años. Bajo estas circunstancias el objetivo básico de la Planta será la descontaminación de las aguas servidas de uso doméstico.

Por lo anterior, la evaluación habrá de centrarse en los costos tanto de montaje e instalación como de mantenimiento. Se utilizará el método de Costo-Eficiencia con el sistema de costo mínimo, con el fin de determinar

¹⁸ Castellanos, Yino. Ob.Cit

cual de los tres proyectos alternativos absorbe menos recursos (véase el capítulo referido al Marco Teórico).

De acuerdo con este método, la mejor alternativa será aquella que arroje el menor Valor Presente de los Costos (VPC).

La fórmula correspondiente es la siguiente:

$$VPC = \sum_{i=0}^{i=n} C_i / (1+r)^n$$

En donde:

VPC: Valor presente de los costos

C_i : Costos del proyecto en el año i

r : Tasa de descuento

En todos los casos, el periodo de análisis (n), será de 10 años teniendo en cuenta que ese es el periodo de vida útil de la planta de tratamiento.

Las principales fuentes de información para determinar los costos en cada una de las alternativas consideradas son:

- Para la Planta, la información tanto de los costos de montaje como de mantenimiento provendrá de BIOTEC COLOMBIA S.A, que es la empresa que en Colombia fabrica y opera dichas plantas. La información de costos está basada en la experiencia que ya ha adquirido la empresa y que le permite establecer con muy escaso margen de error el costo de la planta

y su operación de acuerdo con el tamaño de la misma, a la vez que el tamaño dependerá de la población del municipio. De esta manera los costos se establecen tomando como referencia el número de habitantes.

- Para la tecnología EM, la información proviene directamente de los fabricantes de la sustancia y de la información técnica sobre la cantidad de sustancia que se requiere para cargar cada ladrillo. La principal fuente de información en este caso se deriva de las experiencias de la bióloga Margarita Correa, quien ya ha experimentado esta tecnología en otros países. Esta información se encuentra en la obra citada de Castellanos, Yino.

4. EVALUACIÓN DE PROYECTOS ALTERNATIVOS

La palabra proyecto indica designio, pensamiento, propósito de hacer alguna cosa. Proyectar es planear la realización de algo en el futuro inmediato o mediato. Por extensión, también se aplica el verbo a la materialización de determinados elementos que permiten concretar una realización, por ejemplo los dibujos, planos e instrucciones. Esta interpretación es la habitual en el ingeniero, arquitecto o técnico, mientras que la anterior es la aplicable al concepto de proyecto de inversión.

Desde la perspectiva de la economía, un proyecto es la fuente de costos y beneficios que ocurren en distintos periodos de tiempo y como consecuencia de la producción de un bien o la prestación de un servicio. El desafío que enfrenta en este caso es identificar los costos y los beneficios que son atribuibles al proyecto, y medirlos o valorarlos con el fin de emitir un juicio sobre la conveniencia de ejecutar el proyecto: Esta es la evaluación económica (Fontaine, 1981).

Desde la perspectiva social un proyecto, además de identificar y valorar los costos y los beneficios, determina el efecto sobre la distribución del ingreso y en general el impacto social y ambiental que se genera por la ejecución del proyecto: Este planteamiento muestra que existe una estrecha relación entre la evaluación económica y la social.

He aquí algunas definiciones:

“Un proyecto es una empresa planificada consistente en un conjunto de actividades interrelacionadas y coordinadas, con el fin de alcanzar objetivos

específicos dentro de los límites de un presupuesto y un periodo de tiempo dados” (ONU, 1984).

“Conjunto coherente de operaciones y acciones que orientadas por objetivos determinados, permiten modificar una situación inicial conocida, y lograr una situación objetivo caracterizada por un conjunto de factores de distinto orden que permiten mejorar las condiciones de una población y su contexto” (Miranda, 1996).

Los objetivos de un Proyecto indican lo que se va a realizar, es decir, el enunciado preciso de las metas o logros a los cuales se aspira a llegar con el proyecto. Todo proyecto social tiene al menos tres objetivos: Beneficio, desarrollo y continuidad. La formulación de objetivos constituye, además, un paso fundamental para la justificación de un proyecto y para el desarrollo de un programa de acción.

“Sin objetivos es imposible establecer los caminos de acción y colocar nuestros recursos en la forma más eficiente; especialmente en países en desarrollo, donde los problemas que se confrontan son tan numerosos y los recursos tan escasos. Un programa de desarrollo implica el establecimiento de objetivos claros y específicos”¹⁹

Los objetivos sirven para numerosos fines, entre los que podemos destacar:

- Definen la situación que se quiere lograr.
- Proveen criterios.
- Reflejan las ideas o la filosofía de la institución, del programa o área programática, como del proyecto mismo.

¹⁹ Banguero, Jairo y Quintero, Víctor Manuel. Los proyectos Sociales I página 58.

- Definen las prioridades para la colocación de los recursos.
- Sirven de base a la acción común de los participantes, incorporando sus intereses y necesidades dentro de la institución, programa o proyecto.
- Son base para la evaluación.

En todo proyecto se deben plantear dos tipos de objetivos: Un objetivo general y varios objetivos específicos.

El objetivo general es la misión del proyecto y su función consiste en determinar, a nivel de generalidad, el para qué de las actividades, por lo general no es cuantificable: se trata más de una afirmación cualitativa que cuantitativa.

Los objetivos específicos son los pasos concretos necesarios para llegar al objetivo general. Por ello, se constituyen en puntos intermedios entre el fin del proyecto (objetivo general) y las actividades que se realizarán durante el desarrollo del proyecto.

“Los objetivos específicos están lógicamente interrelacionados entre sí, pues ellos son a su vez la desagregación y los componentes del objetivo general; y si éste último tiene como función dar una solución al problema planteado, los objetivos específicos se constituyen en un conjunto de soluciones para cada una de las causas del problema.”²⁰

Para efectos de la evaluación y análisis de factibilidad, los proyectos pueden clasificarse en:

²⁰ Ibid, página 63.

1. Proyectos Económicos de Beneficio Privado o Negocios
2. Proyectos Económicos de Beneficio Común o Proyectos Sociales no Subsidiados
3. Proyectos Sociales subsidiados

Proyectos Económicos de Beneficio Privado o Negocios: Buscan obtener una ganancia o utilidad para el productor mediante la venta de un bien o servicio a la comunidad, por ejemplo, un proyecto para evaluar la viabilidad financiera del montaje y puesta en marcha de una empresa de calzado. El criterio básico de evaluación de este tipo de proyectos es la rentabilidad privada. Comúnmente se la denomina evaluación financiera de proyectos.

Proyectos Económicos de Beneficio Común o Proyectos Sociales no Subsidiados: Buscan satisfacer una necesidad de la comunidad a través de suministro de un bien o servicio, por ejemplo, el suministro de agua potable o energía, a la comunidad mediante el pago de una tarifa o una contribución. Los criterios básicos de evaluación de este tipo de proyectos son: La contribución al bienestar global de la sociedad y la producción del bien o servicio al costo más bajo posible para los usuarios teniendo en cuenta su capacidad de pago. Aunque sus beneficios son cuantificables en términos monetarios, a diferencia de los primeros, el lucro o la ganancia no es el criterio de evaluación, sino la rentabilidad social del proyecto. Comúnmente se la denomina evaluación económica y social de proyectos.

Proyectos Sociales subsidiados: Como los económicos, buscan satisfacer una necesidad social comunitaria, pero a diferencia de ellos, no hay un cobro a la población porque el beneficio no es fácilmente cuantificable en términos

monetarios, por ejemplo, la construcción de un parque recreacional de libre acceso para la población o el establecimiento de un sistema de descontaminación de aguas residuales. Los criterios de evaluación en este tipo de proyectos son: el beneficio comunitario medido a través de uno o varios indicadores de impacto social y la producción del bien o servicio al costo más bajo posible. Comúnmente se la denomina evaluación de proyectos sociales.

Los siguientes son los tipos de evaluación mas conocidos:

Evaluación costo - beneficio: Este criterio permite determinar la rentabilidad (viabilidad) de los proyectos, contrastando el flujo de costos y beneficios actualizados, que se desprenden de su ejecución y operación. Los costos corresponden al valor de los recursos utilizados, mientras que los beneficios se derivan de los bienes y servicios producidos por el proyecto.

Evaluación costo - efectividad: Bajo este criterio se comparan los costos monetarios con la posibilidad de alcanzar ciertos objetivos que no pueden expresarse en términos monetarios.

Evaluación de impacto: Se orienta a determinar en qué medida el proyecto ha alcanzado sus objetivos y qué cambios se han producido en la población beneficiaria, o sea, la medida en que el proyecto produce una transformación en el ámbito en que se inserta, independientemente de la magnitud de los recursos utilizados para tal efecto. El proceso de evaluación de impacto busca determinar en qué medida el proyecto contribuyó a modificar la situación inicial de la realidad en que intervino. Un método recomendado para determinar el impacto consiste en comparar, bajo ciertos parámetros, la situación sin proyecto y la situación con proyecto.

Evaluación de Proceso: Al contrario de la evaluación de impacto que observa si se cumplieron o no los objetivos, la evaluación de proceso mira hacia adelante para sugerir adecuaciones y correcciones en las propuestas de inversión social, es decir, mira el proceso y no los resultados.

Evaluación económica: Busca garantizar una asignación óptima de los recursos económicos disponibles y el logro de los objetivos propuestos; teniendo en cuenta el costo de los insumos y la magnitud del impacto que produce en el medio económico donde operará el proyecto.

Evaluación financiera: Evaluación que considera los beneficios y costos que puede percibir un inversionista privado. El análisis se hace a partir del flujo actualizado de ingresos y egresos.

Evaluación social: Evaluación que se orienta a medir los efectos de un proyecto sobre la sociedad en su conjunto. Considera todos los beneficios y costos que puedan afectar a la sociedad.

El objeto de esta investigación, se fundamenta en la necesidad de solucionar una problemática ambiental y social, pues la contaminación de la Quebrada Barichara puede agotar un recurso hídrico en una zona caracterizada por ser de naturaleza semidesértica.

Desde esta perspectiva, las diferentes alternativas identificadas generan los mismos beneficios: Salvar la Quebrada y reducir el riesgo de enfermedades en aquella población, en especial la rural, que se surte de las aguas de la quebrada para uso doméstico. Por estas razones los proyectos de descontaminación se pueden definir como proyectos sociales de beneficio común, subsidiado en este caso, y la evaluación pertinente pertenece al campo de las evaluaciones económicas y sociales a partir del estudio de los

costos, pues no se considerará ningún tipo de ingresos. A continuación se desarrollarán las evaluaciones correspondientes a dos proyectos alternativos: La planta de tratamiento de aguas residuales el sistema de tratamiento con tecnología EM. Este último se subdivide en dos subalternativas: Dispositivo activado con EM y Preparación casera con EM.

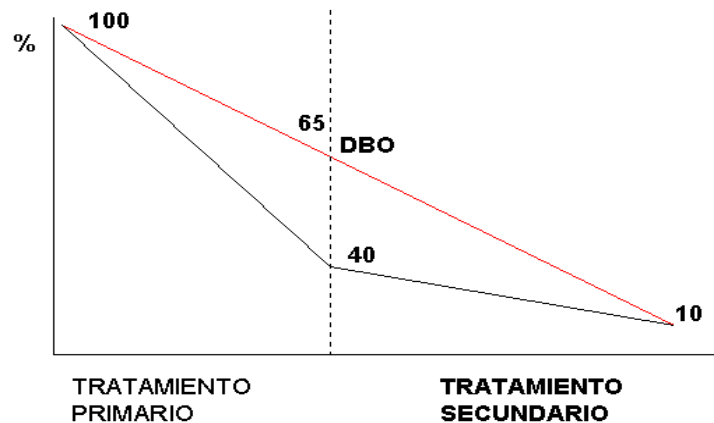
4.1 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

4.1.1 Procedimiento Técnico. Una Planta de tratamiento de aguas servidas, busca principalmente eliminar los contenidos físicos, químicos y biológicos (bacteriológicos) que generan contaminación del agua cuando esta ha sido utilizada en los quehaceres domésticos, en las actividades fisiológicas humanas y animales y en las actividades productivas y comerciales, en otras palabras, con el montaje de las plantas de tratamiento se pretende eliminar toda contaminación del agua que pueda ser nociva para los seres humanos, la flora y la fauna de manera que el agua sea dispuesta en el ambiente en forma segura. El tratamiento debe optimizarse con el fin de que no se generen olores ofensivos hacia la comunidad en la cual está inserta. Una planta de aguas servidas bien operada debe eliminar al menos un 90% de la materia orgánica y de los microorganismos patógenos presentes en ella.

El proceso de descontaminación se da por etapas, cada una de ellas cumple una función específica, tal como se observa en la siguiente tabla:

Planta de Tratamiento: Proceso de Descontaminación de Aguas Servidas

ETAPA	OBJETIVO	PRINCIPIO
PRELIMINAR	Remover Sólidos Gruesos	Físico
PRIMARIA	Remover Sólidos en suspensión	Físico
SECUNDARIA	Remover sólidos en solución	Biológico y Físico
TERCIARIA	Remover químicos específicos	Químico y físico



Como se puede observar en el gráfico anterior, la etapa primaria elimina el 60% de los sólidos suspendidos y un 35% de la DBO. La etapa secundaria, en cambio, elimina el 30% de los sólidos suspendidos y un 55% de la DBO.

La etapa preliminar cumple dos funciones:

1. Medir y regular el caudal de agua que ingresa a la planta.
2. Extraer los sólidos flotantes grandes y la arena.

El gráfico siguiente muestra la rejilla encargada de retener los sólidos groseros.



Fuente: Enciclopedia Wipendia, en [Wikipedia .org/wiki/Aguas_servidas](https://es.wikipedia.org/wiki/Aguas_servidas)

En la etapa primaria se remueven los sólidos en suspensión, por medio de estanques de sedimentación primarios. La mayoría de las plantas disponen de varios estanques de sedimentación primaria con el fin de remover entre el 60 y el 70 por ciento de sólidos en suspensión.

En la etapa secundaria se remueven sólidos en solución a través de un proceso puramente biológico, se utiliza para ello un estanque especial que transforma una parte de dichos sólidos en lodo activado, el cual se sedimenta. Las estructuras usadas para el tratamiento secundario incluyen filtros de arena intermitentes, filtros percoladores, contactores biológicos rotatorios, lechos fluidizados, estanques de lodos activados, lagunas de estabilización u oxidación y sistemas de digestión de lodos.

En la etapa terciaria, se remueven contaminantes específicos provenientes del uso de detergentes (domésticos e industriales), los cuales resultan bastante dañinos, pues agotan el oxígeno en el agua y matan la fauna que existe en el sector. En algunos casos se pueden utilizar plantas que no desarrollan esta etapa, pues no en todas las situaciones se presenta este tipo de contaminación con detergentes. El proceso que aquí se desarrolla es puramente químico.

Una vez las aguas servidas tratadas normalmente han eliminado los componentes físicos, químicos y biológicos, quedan microorganismos patógenos que sobreviven a las etapas anteriores de tratamiento. Son microorganismos patógenos denominados coliformes. La última etapa consiste en la desinfección del agua, lo cual se realiza mediante procedimientos diversos como la cloración, la ozonización, la bromación y la radiación ultravioleta.

Este proceso de desinfección se puede realizar independientemente de si se tiene o no una planta de tratamiento. En el caso de las aguas servidas en poblados pequeños, la desinfección se constituye en el procedimiento más importante, con lo cual la construcción de una planta de tratamiento podría descartarse. Sin embargo, en aquellas regiones en las que se construya la planta, el proceso de desinfección será siempre necesario.

La estructura que se usa para efectuar la desinfección por cloración es la cámara *de* contacto: Consiste en una serie de canales interconectados por los cuales fluye el agua servida tratada de manera que ésta esté al menos 20 minutos en contacto con el cloro, tiempo necesario para dar muerte a los microorganismos patógenos²¹.



Cámara de Contacto de una Planta de Tratamiento

4.1.2 Evaluación Económica de la Planta de Tratamiento. En el mercado existen diferentes tipos de plantas de tratamiento de aguas, las diferencias se determinan por el tamaño, su nivel de efectividad (porcentaje de descontaminación), tecnología (forma de operar) y precios entre otros

²¹ Enciclopedia Wipendia, en [Wikipedia .org/wiki/Aguas_servidas](https://es.wikipedia.org/wiki/Aguas_servidas)

factores. Dado que Barichara es un municipio relativamente pequeño se decidió escoger las plantas de tratamiento del sistema U.A.S.B.

Una de las principales ventajas del sistema U.A.S.B. es su tamaño, requiere tan solo de 50 a 100 m² de terreno para 1.000 habitantes; en este caso si partimos de una población proyectada de 7000 habitantes en el casco urbano de Barichara durante los próximos 10 años, el terreno utilizado para el montaje de la planta no sería mayor a los 500 m². Otra ventaja es la ausencia de equipos electro-mecánicos lo que implica bajos o nulos costos de electricidad y bajos costos de operación y mantenimiento en general.

Por último, se ha seleccionado el sistema U.A.S.B. por tratarse de una planta de alto rendimiento con un precio relativamente bajo y porque, a diferencia de los sistemas tradicionales, prácticamente no genera olores desagradables e incómodos para la comunidad.

Con base en plantas diseñadas, construidas y puestas en operación por BIOTEC COLOMBIA S.A, el costo de adquisición e instalación de una planta tipo U.A.S.B., está alrededor de los US\$ 35 por habitante para un municipio mediano (25.000 habitantes) con una capacidad de descontaminación del 75%. En la medida en que Barichara es un municipio pequeño (7000 habitantes en casco urbano proyectado para los próximos 10 años) este costo puede resultar un poco mas elevado, pues a medida que el número de habitantes es menor el costo de la planta se eleva. En cuanto a los costos de operación, estos oscilan entre US\$ 1 y US\$ 2 por habitante²², se utilizará para el caso de Barichara el valor de US\$2, pues, como se dijo antes, a

²² BIOTEC COLOMBIA LTDA, establece el rango entre 1 y 2 dólares por habitante, para poblaciones que oscilan entre 5000 y 25000 habitantes. Señala además que a medida que el numero de habitantes es menor, los costos de operación son mayores, de allí que se haya establecido el valor de 2 dólares para Barichara. Véase Enciclopedia Wipendia, en Wikipedia .org/wiki/Aguas_servidas

medida que el municipio sea más pequeño, la unidad de costo tiende a ser mayor.

Aunque estas plantas generan algunos subproductos como el biogás que puede ser comercializado, esta posibilidad no se considerará dentro de la evaluación, pues en el caso de municipios pequeños, como Barichara, el volumen obtenido de este subproducto es insignificante.

De esta manera, la construcción del flujo de caja (flujo de costos) que se generaría por el montaje y operacionalidad de la Planta de Tratamiento tipo U.A.S.B, se haría con los siguientes criterios y supuestos:

- ❖ Costo de Adquisición e Instalación de la Planta de Tratamiento tamaño Barichara (inversión inicial): $7000 \text{ Habitantes} * \text{US\$}35 = \text{US\$}245000$.
- ❖ Considerando un tipo de cambio de \$2366 por dólar (Tasa Representativa del Mercado, a la fecha Abril 18 de 2006), el costo de adquisición e instalación de la planta asciende a \$ 579.670.000.
- ❖ Si se supone que la instalación de la planta no demanda ningún tipo de obra civil adicional, en razón a que la misma será instalada en un lugar cercano al casco urbano, justo en el punto donde termina el alcantarillado que transporta las aguas servidas a la quebrada, entonces la inversión inicial ascenderá a la suma señalada en el punto anterior.
- ❖ Se considerarán flujos anuales durante 10 años, que es el periodo considerado por los fabricantes como la vida útil de la planta.
- ❖ Los flujos anuales estarán constituidos únicamente por los llamados costos de operación. Estos costos se calculan a partir de las experiencias

de los fabricantes (BIOTEC COLOMBIA) los cuales han establecido unos costos de operación anual de US\$2 por cada habitante.

- ❖ Cada año los costos se ajustarán por la tasa de devaluación estimada para Colombia durante los próximos años. Se estima una tasa del 3% fija para cada año, el argumento principal para esta determinación es el diferencial inflacionario: Se parte de que la inflación en Colombia se estandarizará en los próximos años alrededor del 5%, mientras que la inflación en Estados Unidos se mantendrá estable alrededor del 2%; de esta manera se espera que el Banco de la República mantenga una tasa de devaluación del 3% que es la diferencia entre las dos tasas de inflación²³.

Bajo esta perspectiva, durante el primer año el costo de operación será equivalente a $(7000 \cdot \text{US}\$2) \cdot \2366 y cada año subsiguiente se generará un costo de operación equivalente a $(\text{Costo de Operación anterior} \cdot 1,03)$ durante 10 periodos.

De esta manera con los flujos de costos obtenidos se calcula el Valor Presente de los Costos (VPC). Con una Tasa del 10%, que es la recomendada para evaluación de proyectos sociales.

- ❖ En cuanto a posibilidades de construcción de la planta por parte del municipio, podrían considerarse tres situaciones:
 - El Municipio asume toda la inversión inicial

²³ La razón para esta interpretación es la siguiente: El peso colombiano siempre ha estado anclado al dólar; de esta manera para mantener la competitividad de los productos colombianos en el mercado de Estados Unidos que absorbe el 45% de nuestras exportaciones, es necesario que el Banco de la República devalúe el peso en, por lo menos la diferencia entre la inflación en el país y la de los Estados Unidos.

- El Municipio asume el 50% de la inversión inicial
- La inversión inicial es financiada por entidades diferentes al Municipio, es decir el Municipio no asume la inversión inicial.

Estos tres escenarios se establecen en razón a que existe la posibilidad de que entidades de orden regional, nacional e internacional proporcionen fondos para financiar este tipo de proyectos públicos, en especial por sus efectos benéficos sobre el ambiente.

Sin embargo, desde la perspectiva de la evaluación económica, no es conveniente construir flujos de costos haciendo esta separación aunque para efectos prácticos la viabilidad de que el municipio construya la planta es mayor si no tuviese que desembolsar los dineros correspondientes a la inversión inicial, asumiendo solo los costos de mantenimiento, pues los costos iniciales siempre se ocasionarán independiente de quién o qué entidad los asuma.

Con base en los criterios y la información anterior, los resultados de los flujos de costos para el montaje y operación de la planta de tratamiento, es el que se muestra a continuación:

Flujo de costos. Proyecto Planta de Tratamiento U.A.S.B. En miles de \$

Periodo	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Costo	579670,0	33124,0	34118,0	35141,0	36195,0	37281,0	38400,0	39552,0	40738,0	41960,0	43219,0

Fuente: Cálculo de los Autores

VPC = 807686,35 (En Miles de pesos)

El cálculo se hizo aplicando la fórmula que aparece en el capítulo de metodología.

4.2 SISTEMA DE TRATAMIENTO CON TECNOLOGÍA EM

4.2.1 Aspectos Técnicos. La tecnología EM fue desarrollada en la década de los ochenta por el Doctor Teruo Higa, Profesor de Horticultura de la Universidad de Ryukyus en Okinagua, Japón. Estudiando las funciones individuales de diferentes microorganismos, encontró que el éxito de su efecto potencializador estaba en su mezcla.

A partir de este momento, la tecnología ha sido investigada, redesarrollada y aplicada a una multitud de usos agropecuarios y ambientales, siendo utilizada actualmente en más de 80 países. El Doctor Higa donó al mundo la tecnología EM y creó a EMRO (EM Research Organization), organización sin ánimo de lucro para difundir la tecnología, distribuida en cada país por organizaciones con igual orientación.

En Colombia la Entidad responsable de esta misión es FUNDASES, Fundación de Asesorías para el Sector Rural, Ciudad de Dios, creada en 1988, por la Organización El Minuto de Dios. En el año 2.000, EMRO (Efficient Microorganisms Research Organization) estableció una alianza tecnológica con FUNDASES para la producción y difusión tecnológica del EM en Colombia, en las áreas agrícola, producción animal, saneamiento ambiental, salud humana, construcción e industria automotriz.

La bióloga Margarita Correa, quien ha venido promoviendo el uso de esta tecnología en varios países del mundo, sostiene que “estos microorganismos ya son utilizados por 125 países, incluidos Estados Unidos, Japón y Australia, y que en Colombia se están haciendo pruebas pilotos en Barichara, Departamento de Santander, donde con tres galones de esta bacteria se

descontaminó el acueducto de la población en tres semanas, el mismo que antes no tenía agua apta para el consumo humano”²⁴.

La efectividad de este descontaminante hoy en día no se discute, el mismo es el resultado de varios años de investigación bajo el liderazgo del profesor Teuro Higa. Para ilustrar este hecho transcribimos una extensa cita del documento de Yino Castellanos:

“En 1982, el profesor japonés Teuro Higa, investigador de la Universidad del Ryukyus, de su país natal, divulgó al mundo científico un hallazgo que podría constituirse en una alternativa para devolver a la naturaleza parte de su equilibrio original.

Se trataba de los microorganismos eficientes, o EM por su sigla en inglés. Una combinación de organismos benéficos de tres géneros principales: bacterias fototrópicas, levadura y bacterias del ácido láctico, que, en primera instancia, demostraron su eficacia en la recuperación de suelos para cultivo.

Feliz descubrimiento del profesor Higa, luego de observar, tras 14 años de experimentación con más de dos mil microorganismos (entre dañinos y benéficos), la súbita aparición de abundante vida vegetal alrededor de un grupo de arbustos acondicionados con la original mezcla.

La misma que se puede obtener a partir de la presencia de bacterias benéficas, capaces de establecer relaciones de interdependencia y prosperidad compartidas, en una solución líquida”, como anota la

²⁴ Castellanos, Yino. Ob. Cit.

investigadora colombiana Margarita Correa, quien desde hace siete años trabaja con los EM en la ciudad india de Auroville, donde reside”²⁵.

EM es un cultivo de bacterias benéficas que tiene la virtud, entre otras, de descomponer la materia orgánica en sus elementos básicos y asimilar algunos de ellos en su proceso metabólico y respiratorio. Mediante estas reacciones bioquímicas, se genera oxígeno y compuestos antioxidantes, que mejoran la calidad del agua al aumentar el oxígeno disuelto y disminuir ostensiblemente la DBO y DQO, con los efectos secundarios relacionados como la reducción de sólidos totales. En el tratamiento de aguas servidas transforma y sintetiza la materia orgánica, reduce los valores de DBO y DQO, incrementa los valores de oxígeno disuelto y también reduce producción de lodos en sistemas de tratamiento convencionales.

En el tratamiento de aguas para el consumo humano, disminuye o elimina la materia orgánica contenida en el agua cruda, permite efectuar una desinfección más eficiente ya que evita la formación de compuestos cancerígenos como los trihalometanos y las triaminas, que se producen mediante la reacción del cloro con los compuestos orgánicos. Cuando en un sistema se tienen tiempos de residencia de los “EM” altos, se puede lograr la eliminación de los coliformes fecales y totales, causantes de la contaminación microbiológica. Elimina la presencia de microorganismos patógenos como mesófilos y coliformes., mejora las condiciones de oxígeno disuelto e induce características benéficas mediante sustancias antioxidantes

El principio biológico que determina la actuación de este consorcio de bacterias se basa, entre otras propiedades, en su carácter antioxidante. Además, cuando estos microorganismos entran en contacto con la materia

²⁵ Ibid.

orgánica, secretan sustancias benéficas como vitaminas, ácidos orgánicos y minerales. Así mismo, prosperan por exclusión competitiva, tanto en nichos contaminados como en descomposición, para luego morir cuando las condiciones son limpias, por lo cual no existe riesgo de contaminación secundaria.

La tecnología del EM, se basa en la mezcla de bacterias y microorganismos benéficos. Los principales componentes de dicha mezcla son:

1) Bacterias Acido Lácticas: Estas bacterias producen ácido láctico a partir de azúcares y otros carbohidratos sintetizados por bacterias fototróficas y levaduras. El ácido láctico es un fuerte esterilizador, suprime microorganismos patógenos como el *Fusarium* sp. Ayuda a solubilizar la cal y el fosfato de roca, e incrementa la rápida descomposición de materia orgánica.

Las bacterias ácido lácticas aumentan la fragmentación de los componentes de la materia orgánica, como la lignina y la celulosa, transformando esos materiales sin causar influencias negativas en el proceso.

2) Levaduras: Estos microorganismos sintetizan sustancias antimicrobiales y útiles para el crecimiento de las plantas a partir de aminoácidos y azúcares secretados por bacterias fototróficas, materia orgánica y raíces de las plantas.

Las sustancias bioactivas, como hormonas y enzimas, producidas por las levaduras, promueven la división celular activa. Sus secreciones son sustratos útiles para Microorganismos Eficientes como bacterias ácido lácticas y actinomicetos.

Degradan proteínas complejas y carbohidratos. Producen sustancias bioactivas (vitaminas, hormonas, enzimas) que pueden estimular el crecimiento y actividad de otras especies de EM, así como de plantas superiores.

3) Bacterias Fototrópicas: Son bacterias autótrofas que sintetizan sustancias útiles a partir de secreciones de raíces, materia orgánica y gases dañinos, usando la luz solar y el calor del suelo como fuentes de energía.

Pueden fijar el Nitrógeno atmosférico y el bióxido de Carbono en moléculas orgánicas tales como aminoácidos y carbohidratos, también sintetizan sustancias bioactivas.

Llevan a cabo una fotosíntesis incompleta, lo cual hace que la planta genere nutrimentos, carbohidratos, aminoácidos, sin necesidad de la luz solar, eso permite que la planta potencialice sus procesos completos las 24 horas del día.

Estas bacterias benéficas las consumimos en nuestra alimentación diaria sin darnos cuenta de ello: las llamadas fototrópicas en el arroz, la levadura en el pan y la cerveza y las bacterias ácido lácticas se encuentran en el kumis y el yogur.

De acuerdo con las investigaciones realizadas, la sustancia obtenida por la tecnología EM, tendría aplicación en los siguientes campos:

1. Tratamiento pre-siembra en los suelos.
2. Aplicaciones foliares.

3. Inoculante para semillas y trasplantes.
4. Inoculante para cultivos de vivero y plantas de maceta.
5. Inoculante para hortalizas, frutales, vegetales, flores, forrajes, cereales y cultivos inundados como el arroz.
6. Inoculante para hacer varios tipos de abonos.
7. Inoculante para renovar aguas residuales y aguas de superficie contaminada (estanques)

Es en este último punto donde se centra la atención del proyecto ya que el EM aplicado desde las fuentes contaminantes, en los desagües de las viviendas de Barichara, va a permitir la descontaminación del agua durante su recorrido por la red de alcantarillado hasta el sitio de descarga final de las aguas residuales en la quebrada Barichara.

Los Microorganismos Eficientes, EM, han demostrado ser una herramienta biológica importante, que gracias a sus virtudes y accesibilidad, permiten solucionar problemas ambientales de diferentes entornos, en un solo escenario. Los siguientes ejemplos así lo demuestran:

- En el Municipio de Togüi, al norte del departamento de Boyacá, se aplicó la tecnología EM, para solucionar simultáneamente problemas de aguas para consumo humano, manejo y disposición de residuos sólidos urbanos y manejo de aguas residuales domésticas. Con la aplicación de los EM al agua de consumo suministrada a la población se logró obtener un agua de tal calidad que la Secretaría de Salud de Boyacá dio su concepto favorable sobre su potabilidad.

En el manejo y disposición de residuos sólidos urbanos los costos de operación se redujeron ostensiblemente y además se empezaron a recibir ingresos por la venta de subproductos, demostrando que el EM no solo es una alternativa ambiental eficiente, sino que también reduce costos de operación.

En el manejo de aguas residuales el municipio cuenta con una PTAR (Planta de Tratamiento de Aguas Residuales) la cual generaba problemas de malos olores al Colegio Departamental, cercano a la planta, estos están siendo controlados totalmente, por efecto de los EM sobre la materia orgánica contenida en el agua y por su virtud de eliminar los malos olores. Adicionalmente, el efluente de la PTAR es un líquido sin olor y de muy baja turbiedad, que no genera impacto sobre la fuente receptora, mostrando la acción de los EM sobre la calidad de las aguas residuales.

- El río Tunjuelo, maneja los excesos de los embalses de la Regadera y Chisacá, pertenecientes al sistema hídrico de la ciudad de Bogotá. Aguas abajo del embalse de Chisacá recibe las aguas residuales de una población aproximada de 300.000 habitantes y el caudal sanitario de Doña Juana, con las consecuencias ambientales que esto genera.

A raíz de los desbordamientos del río, ocurridos entre mayo y junio de 2002, se generó una emergencia sanitaria por la inundación de 5 cárcavas de extracción de agregados pétreos para la construcción, lo cual trajo como consecuencia generación de olores molestos y la proliferación de insectos y demás vectores que este tipo de contaminación conlleva.

La comunidad afectada presentó problemas de salubridad como enfermedades respiratorias y epidémicas, observadas principalmente en

la población infantil. La Fundación de Asesorías del Sector Rural “FUNDASES” fue la encargada de mitigar el impacto y eliminar los olores molestos mediante la aplicación de la tecnología de los Microorganismos Eficientes EM.

Una vez aplicados los microorganismos y según los valores monitoreados previamente, el oxígeno disuelto tuvo una tendencia de aumento a partir del primer análisis en todas las lagunas, igualmente los malos olores fueron disminuyendo con la aplicación del EM, resaltando los comentarios de la comunidad respecto a la disminución de los olores molestos.

- La experiencia en el municipio de Barichara, demuestra cómo se puede obtener agua apta para consumo humano con apenas siete kilos de carbón de leña, tres litros de los EM, veinte litros de agua potable y tres kilos de melaza. "En el momento en que entra el agua al acueducto, antes de pasar por floculadores, se sumerge esta mezcla y se deja fermentar ocho días. Luego se saca, se mete en costales que después se sumergen en las aguas del acueducto. El paso de corriente por estos carbones de leña, activados con EM, permite la purificación del precioso líquido", explica la doctora Margarita Correa, en el documento citado de Yino Castellanos.

El éxito de esta práctica fue corroborado por la medición que realizó la Secretaría de Salud de Bucaramanga, y confirmó que los patógenos del pequeño acueducto de este municipio fueron llevados a cero. Ahora los baricharenses disfrutan de agua más pura, con una inversión muy baja y que revela las ventajas de esta tecnología, que además de barata y

rápida (en apenas un mes se constataron los resultados), no deja remanentes químicos²⁶.

4.2.2 Análisis de Viabilidad Económica: tecnología EM. Como ya se indicó en el capítulo de la metodología, el análisis de viabilidad para determinar la mejor alternativa, se limita a la determinación del Valor Presente de los Costos, dado que los beneficios son iguales en cualquiera de los proyectos alternativos. En el mismo capítulo se indicó que para la evaluación de esta alternativa, se consideraran dos procedimientos:

Procedimiento 1: Utilización de un Dispositivo Activado con la sustancia EM.

Procedimiento 2: Utilización de una preparación casera en la que se mezcla la sustancia EM con otros ingredientes (en nuestro caso el ingrediente a utilizar será el agua que queda después de lavar el arroz de consumo doméstico).

Evaluaremos cada procedimiento por separado.

Procedimiento 1: Dispositivo Activado con EM. Para el caso que nos ocupa sobre el tratamiento de aguas residuales en Barichara Santander, se puede utilizar la técnica de ladrillo activado mediante una solución en proporción de un litro de EM, cuatro litros de agua, y un kilo de melaza. El ladrillo se activa sumergiéndolo dentro de esta solución durante ocho días; una vez activado el ladrillo se deposita en la cisterna de los baños. De esta manera, los microorganismos inmersos en los ladrillos pasaran a los conductos de aguas servidas (alcantarillas) iniciando el proceso de

²⁶ El Tiempo. Bogotá, D. C. Febrero 25 de 2004; http://eltiempo.terra.com.co/bogo/2004-02-25/ARTICULO-WEB-_NOTA_INTERIOR-1534091.html

purificación y permitiendo que el agua residual llegue a la Quebrada libre de patógenos.

Los ladrillos se pueden fabricar y activar por las mismas autoridades municipales, o se pueden adquirir por intermedio de fabricantes externos, con lo que las localidades que implementen este sistema de descontaminación podrán adquirir los dispositivos ya activados.

Para la evaluación de este procedimiento, se tendrán en cuenta los siguientes supuestos:

- ❖ El Municipio adquirirá los ladrillos ya activados, de tal manera que solo realizará el proceso de reactivación.
- ❖ El Municipio ejecutará directamente el proceso de instalación del dispositivo en los baños de las casas, la reactivación de los dispositivos y la reinstalación periódica de los mismos. Esto implica que el Municipio asume todos los costos relacionados: Inversión inicial, reactivación, instalación y reactivación y reposición de ladrillos.
- ❖ Se supone por lo tanto que en esta evaluación no habrán ingresos generados como resultado de cobro a los usuarios. De existir este cobro se considerará simplemente como distribución de los costos entre el gobierno y los ciudadanos, pero para nada afectarán el Valor Presente de los Costos ni los beneficios derivados del proyecto.

Los flujos de costos se harán por periodos anuales y durante 10 años, que es el periodo de la vida útil de la Planta. Su construcción se hará a partir de las siguientes consideraciones:

Inversión Inicial: Se inicia con la adquisición de los ladrillos activados los cuales se van a introducir en los tanques de los sanitarios en cada una de las casas de Barichara. Estos ladrillos deben retirarse a los 15 días para ser reactivados con la mezcla de EM y melaza. De acuerdo con los procedimientos técnicos, las subsiguientes reactivaciones se hará cada 30 días. Como el proceso de reactivación dura varios días, el numero inicial de ladrillos adquiridos, tendrá que ser el doble de los ladrillos necesarios, uno por cada casa u hogar, de tal manera que al retirar los ladrillos para ser reactivados se puedan instalar de forma inmediata los sustitutos.

Inversión Inicial = (Numero de ladrillos Activados* Precio de cada Ladrillo) + (Numero de Recipientes * Precio de cada Recipiente) + Costo primera reactivación (15 días) + Costo primera reactivación (30 días) + Costo Instalación.

Esto significa que la inversión inicial abarcará todos los desembolsos realizados durante el primer mes de implantado el sistema, mientras que los costos de operación incluirían todos aquellos desembolsos que se deriven de la reactivación de los ladrillos y de la desinstalación e instalación de los mismos.

Los precios y sus valores son los siguientes:

- Precio Ladrillo Activado: \$500

- Numero de Ladrillos Activados: 2000 (1000 que corresponden al numero de hogares en el casco urbano y 1000 disponibles para sustituir a los que se retiran cada vez que se vaya a realizar una reactivación).

- Precio de cada Recipiente: \$250000

- Cantidad de Recipientes: 2, cada uno con una capacidad de 1000 litros.
- Precio del EM: \$3500 el litro
- Cantidad de EM requerido: 200 litros por cada reactivación de 1000 ladrillos.
- Precio de la Melaza: \$680 el kilo
- Cantidad de Melaza requerida: 200 Kilos por cada reactivación de 1000 ladrillos.
- Frecuencia de las Reactivaciones: una cada mes
- Para la instalación y desinstalación de los ladrillos, al igual que para el proceso de reactivación de los mismos, se recurre a un contrato de prestación de servicios cuyo costo sería equivalente a \$667000 (esto incluye el salario monetario mínimo y las prestaciones sociales correspondientes).

De esta manera, el valor de la inversión inicial se obtiene a partir del siguiente procedimiento: $(2000 \text{ ladrillos} * \$500) + (2 \text{ tanques recipientes} * 250000) = \$1.500.000$, lo que resulta de hecho una inversión relativamente pequeña en comparación con la inversión inicial de la planta.

Dentro de esta inversión inicial no se incluye el costo de la mano de obra (costo de instalación), pues como se trata de un contrato de prestación de servicios con pagos mensuales, este rubro solo se comienza a cargar a partir del primer mes.

Por su parte el flujo de costo correspondiente al primer año (periodo 1), se obtiene sumando los costos de reactivación e instalación de ladrillos que, como ya se dijo, se ocasionan con una frecuencia mensual.

Sin embargo, debido a que los primeros ladrillos activados requieren ser reactivados a los 15 días, entonces los costos de operación del primer año tendrían una reactivación más que la de los años sucesivos.

En la siguiente tabla se detallan los costos (reactivación e instalación) de 1000 ladrillos:

ITEM	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
EM	200 Litros	\$3500	\$ 700.000
Melaza	200 kilos	\$680	\$ 136.000
Mano de obra	1 contratista / mes	\$ 677.000	\$ 677.000
	Total		\$1.513.000

El total que aparece en la tabla es el costo de una reactivación e instalación de 1000 ladrillos. En el primer mes de operación de la tecnología EM, este costo se repetiría 12 veces correspondiendo a los 12 meses del año.

De esta manera, el valor del primer flujo será igual a:

$1513000 \times 12 (\text{meses del año}) = 18156000 + 100000$ (costo de la reposición de ladrillos) = \$18256000

Se considera una disminución en el inventario de ladrillos por averías de un 5% en cada lapso de seis meses por lo cual se tiene en cuenta esta reposición con un costo de \$50.000.00 cada seis meses.

En resumen el procedimiento 1 del proyecto presenta el siguiente flujo de costos con una periodicidad anual por 10 años. Estos costos se incrementan anualmente a partir del segundo año, teniendo en cuenta un índice de inflación del 5% anual.

Flujo de costos. Proyecto tecnología EM. Dispositivo Activado. En miles de \$

Periodo	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Costo	1500,0	18256	19169	20127	21134	22190	23300	24465	25688	26972	28321

Fuente: Cálculo de los autores

VPC: \$137321,31 (EN MILES DE PESOS).

El cálculo se hizo aplicando la fórmula que aparece en el capítulo de metodología.

Procedimiento 2: Preparación Casera. Otra forma de utilización puede ser con el agua de la primera y segunda lavada de arroz, mezclada con una cucharada sopera de EM (6 c.c.), se guarda en un recipiente bien tapado, en un lugar oscuro por dos días. Luego se arroja por el sifón y de esta manera se va purificando el agua de forma similar al caso anterior; todo en beneficio de la naturaleza y de la comunidad de Barichara.

Esta es una alternativa menos costosa pero que requiere del compromiso total de la ciudadanía para poder lograr total efectividad del proyecto ya que diariamente, o por lo menos cada dos en cada hogar se tendría que estar realizando esta labor. Aunque menos costosa, como lo veremos mas adelante cuando se calcule el Valor presente de los costos, puede resultar menos efectiva si no se acompaña de estrategias políticas que generen conciencia ciudadana sobre los peligros que amenazan a la Quebrada por las aguas servidas que van a parar a su cauce.

En este caso, 1 litro de EM tendría una duración estimada de seis meses, por lo que en cada hogar se requeriría de dos litros al año. lo cual

representaría para el proyecto un costo de \$7000000 en el primer año. Para los años subsiguientes el costo se incrementa en proporción al índice de inflación (5%), presentando el siguiente flujo de costos:

Flujo de costos. Proyecto tecnología EM. Preparación Casera. En miles de \$

Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Costo	7000,0	7350,0	7717,5	8103,4	8508,5	8933,9	9380,7	9849,7	10342,2	10859,3

Fuente: Cálculo de los Autores

VPC: \$ 57287,14 (En miles de Pesos)

El cálculo se hizo aplicando la fórmula que aparece en el capítulo de metodología.

Esta opción resulta más económica que la del ladrillo activado, pero su efectividad depende de que la ciudadanía se comprometa en un cien por ciento con su realización de lo contrario al tener que incluir un contrato de prestación de servicios para su ejecución y control, el costo superaría al de la alternativa anterior.

La síntesis de la evaluación a partir del cálculo del valor presente de los costos (VPC), se muestran a continuación:

1. Proyecto Planta de tratamiento de Aguas Servidas Tipo U.A.S.B.

VPC = 807686,35 (En Miles de pesos)

2. Proyecto Metodología EM: Dispositivos Activados

VPC: \$137321,31 (En Miles de Pesos)

3. proyecto Tecnología EM: Preparación Casera

VPC: 57287,14 (En miles de Pesos)

Bajo el criterio de que la mejor alternativa entre varias posibles es aquella que arroje el menor VPC, los resultados indicarían que el mejor proyecto corresponde a la aplicación de la tecnología EM bajo el procedimiento de preparación casera. Sin embargo, su implementación requiere de cultura ciudadana, pues es de responsabilidad total de la comunidad, lo que supondría que, desde el punto de vista de la toma de decisiones políticas, las autoridades tendrán que evaluar la conveniencia o no de implementar un proyecto cuyo éxito depende mucho de la cultura ciudadana.

Queda como segunda mejor alternativa la aplicación de la tecnología EM utilizando los dispositivos activados y bajo la responsabilidad de un funcionario público encargado de la reactivación y la instalación de los dispositivos, lo cual supondría no depender de la cultura ciudadana.

La planta de tratamiento resultaría bastante costosa y, aunque su efectividad es bastante segura, no se recomienda para las características de Barichara, cuyo crecimiento poblacional es bastante reducido.

CONCLUSIONES

Definitivamente, es necesario y urgente encontrar una solución, por supuesto viable desde una perspectiva económica y social, a la problemática de la Quebrada Barichara, pues es la única fuente hídrica propia del municipio del mismo nombre, el cual se encuentra ubicado en una región con una naturaleza semiárida.

De acuerdo con los cálculos del VPC y con los criterios de evaluación establecidos en la metodología, la mejor alternativa es la aplicación de la tecnología EM en el procedimiento 2. Este procedimiento a diferencia, del procedimiento 1 y del proyecto de la Planta, no requiere de inversión inicial, aunque consume más sustancia EM, si se le compara con el procedimiento de dispositivos activados.

La aplicación del proyecto más viable, Tecnología EM con preparación casera, requiere de una fuerte cultura ciudadana con respecto a la gravedad de la problemática; esto supondría que si no se implementa con campañas permanentes de concientización y de educación, el proyecto podría fracasar un tiempo después de haberse implementado. Se sugiere por lo tanto, que las autoridades municipales no descarten la posibilidad de implementar el segundo mejor proyecto: Tecnología EM con dispositivo activado.

Por último, el montaje de la Planta de Tratamiento, cuya efectividad es mayor que la de las otras dos alternativas, podría considerarse solo en el caso en que el costo de la planta se asuma por una Entidad (regional, nacional o internacional) diferente al Municipio. Pero aún así deberán analizarse los costos de operación que la planta demande.

RECOMENDACIONES

La más importante es que dado que la mejor alternativa requiere que los ciudadanos adquieran conciencia del deterioro a que esta sometida la quebrada, las autoridades municipales emprendan un programa, tanto en las escuelas como en los hogares, para generar una cultura ciudadana sobre la problemática ambiental.

De otra parte, las autoridades municipales y departamentales también deben evaluar la posibilidad de implementar la segunda mejor alternativa la cual, aunque un poco más costosa, podría ser más efectiva y eficiente ya que su operación quedaría en manos de los funcionarios municipales.

Si se tiene en cuenta que el crecimiento poblacional de Barichara es relativamente lento, se recomienda no pensar en la construcción de la Planta de Tratamiento, no solo por el hecho de ser una alternativa costosa, sino por que la tecnología EM ya ha sido probada con bastante éxito.

BIBLIOGRAFÍA

BANGUERO, Harold y QUINTERO, Victor Manuel. Los Proyectos Sociales I y II. Publicaciones IFL. Cali 1991.

COZZETTI. Alejandro. Evaluación Económica de proyectos de Inversión. Editorial el Ateneo. Buenos Aires 1.985.

CRITES, Ron y TCHOBANOGLOUS George. Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas poblaciones, Editorial McGraw-Hill Mexico, 2000.

Enciclopedia Wipendia, en Wikipedia .org/wiki/Aguas_servidas.

FONTAINE, Ernesto. Evaluación Social de Proyectos. Editorial Alfa Omega. Santiago de Chile, 1999.

MOKATE, Karen Marie. Evaluación Económica y Social de Proyectos de Inversión. Uniandes. Santafé de Bogotá 1.996.

MORENO, Alvaro. Evaluación Social de Proyectos. Modulo Especialización Evaluación y Gerencia de Proyectos. UIS 2005.

MUSGRAVE, Richard. Hacienda Pública Teórica y Aplicada. Editorial McGraw-Hill Mexico, 1995.

WIKILIBROS. Manual de Ingeniería Sostenible del Agua. En www.wikibooks.org/wiki.

ZAPAG, Nasir. Criterios de Evaluación. Mc. Graw Hill. México 1.997.