

**EVALUACIÓN ECONÓMICA Y AMBIENTAL DE LOS IMPACTOS
GENERADOS POR LOS VERTIMIENTOS PUNTUALES DE LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES RÍO FRÍO SOBRE LA
POBLACIÓN ALEDAÑA AL CAUCE EN LA ZONA 3 DEL MUNICIPIO DE
GIRÓN**

**DEISY ALEXANDRA GELVEZ MEDINA
DAYANNA DURLEY SEPÚLVEDA ARDILA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS
ESCUELA DE ECONOMÍA Y ADMINISTRACIÓN
BUCARAMANGA**

2011

**EVALUACIÓN ECONÓMICA Y AMBIENTAL DE LOS IMPACTOS
GENERADOS POR LOS VERTIMIENTOS PUNTUALES DE LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES RÍO FRÍO SOBRE LA
POBLACIÓN ALEDAÑA AL CAUCE EN LA ZONA 3 DEL MUNICIPIO DE
GIRÓN**

**DEISY ALEXANDRA GELVEZ MEDINA
DAYANNA DURLEY SEPÚLVEDA ARDILA**

**Trabajo de tesis para optar el título de:
ECONOMISTA**

Director

Rafael Alcides Téllez Sánchez

Magíster en Planificación y Administración del Desarrollo Regional

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS
ESCUELA DE ECONOMÍA Y ADMINISTRACIÓN
BUCARAMANGA**

2011

*Al Rey de Reyes y Señor de Señores,
musa y guía de cada sueño trazado.*

*A nuestros padres,
fuente inagotable de amor y dedicación.*

A nuestros hermanos.

AGRADECIMIENTOS

Porque mejor es la sabiduría que el oropreciado y adquirir conocimiento vale más que la plata, las autoras expresan sus agradecimientos a:

Rosalba Vásquez (mi abuela), quien con su apoyo y amor incondicional impulsó este proyecto a su culminación.

Carlos Quintero Flórez, por su comprensión y aliciente en la materialización de este sueño compartido.

Víctor Gelvez Medina, quien desde la distancia y a través de sus elocuencias resaltó el valor de la perseverancia.

Jairo Puente, por sus aportes en el área de Química Ambiental, fundamentales para la formulación del proyecto.

Jesús Emiro Ortega, por su entrega y paciencia en cada etapa de este logro.

Carlos Julio Aparicio, por el suministro oportuno de la información pertinente para el caso de estudio.

Eduardo Mantilla Pinilla, que con su orientación impulsó la elección del método de valoración adecuado.

José Joaquín Alzate, por su interés y veeduría durante el desarrollo de la investigación.

Luis Ángel Villar, por su contribución al análisis interdisciplinario, proveyendo el lenguaje técnico apropiado en el área de epidemiología.

Rafael Téllez Sánchez, por haber sido partícipe desde la concepción de este proyecto hasta su maduración.

Alexis Heredia Heredia, que con su ingenio y disposición enriqueció sobremanera el contenido semántico.

Demás amigos y familiares quienes, de alguna manera, confiaron, visualizaron y forjaron el alcance de este logro.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	18
1. CONTEXTUALIZACIÓN	21
1.1 CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS Y GEOMORFOLÓGICAS	22
1.2 POBLACIÓN	27
1.2.1. Bambúes.....	27
1.2.2 Almenares de San Juan.....	29
1.2.3 Brisas del Campo.....	30
1.2.4 Girón Campestre.....	31
1.3 DIAGNÓSTICO EPIDEMIOLÓGICO DEL MUNICIPIO.....	32
2. MARCO TEÓRICO	34
2.1 DESARROLLO SOSTENIBLE	34
2.2 ECONOMÍA AMBIENTAL	36
2.2.1 Externalidad.....	37
2.2.2 Impactos ambientales vs costos sociales.	38
2.2.3 Salud y bienestar social.	39
2.3 MÉTODOS DE VALORACIÓN ECONÓMICA	41
2.3.1 Métodos Indirectos.....	42
2.3.2 Métodos directos.....	43
2.3.3 Estimador MCO.	45
2.4 MÉTODO DE COSTOS DE MITIGACIÓN	46
2.4.1 Antecedentes.....	48

2.4.2 Limitaciones.....	49
3. GENERALIDADES SOBRE EL AGUA RESIDUAL.....	51
3.1 TÉCNICAS DE TRATAMIENTO	51
3.2 COMPOSICIÓN GENÉRICA Y USOS ALTERNATIVOS.....	57
3.3 GESTIÓN Y SANEAMIENTO	61
3.3.1 América Latina.....	61
3.3.2 Colombia.....	65
4. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES RÍO FRÍO	70
4.1 ORÍGENES Y EVOLUCIÓN.....	70
4.2 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	74
4.2.3 Tratamiento Secundario.....	77
4.3 PROYECTO DE MODERNIZACIÓN	79
4.4 MONITOREO DE LA AUTORIDAD AMBIENTAL	81
4.4.1 Instrumentos para el control de la calidad hídrica.....	81
4.4.2 Análisis de resultados según Informe del Histórico de Calidad del Agua.....	92
4.5 CONTAMINACIÓN POR VERTIMIENTOS DE LA PTAR RIO FRÍO	97
5. MODELO EXPERIMENTAL.....	100
5.1 METODOLOGÍA	100
5.1.1 Muestra.....	101
5.1.2 Variables: descripción.....	102
5.2 ACOPLAMIENTO: RIPS - BASE DE DATOS SISBEN	103
5.2.1 Estudio Econométrico mediante MCO.....	106

5.2.2 Resultados del estimador.....	107
5.3 RECOLECCIÓN Y EMISIÓN DE FUENTES PRIMARIAS.....	112
5.4 APLICACIÓN DEL MÉTODO DE COSTOS DE MITIGACIÓN (MCM).....	119
6. CONCLUSIONES	124
BIBLIOGRAFIA	126
ANEXOS	131

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tipologías alternativas para los métodos de valoración de los impactos ambientales	45
Tabla 2. Componentes fisicoquímicos generales del agua residual	58
Tabla 3. Usos alternativos del recurso del agua	60
Tabla 4. Clasificación del nivel de riesgo en salud según el IRCA por muestra, el IRCA mensual y las medidas que deben adelantarse	82
Tabla 5. Relación intervalo-calidad según ICA	84
Tabla 6. ICA según puntos de Monitoreo en Río Frío	86
Tabla 7. Clases del Estatuto Sanitario de la CDMB	89
Tabla 8. Parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos puntos de monitoreo RF-P y RF-B	90
Tabla 9. Cuencas, subcuentas y microcuencas del municipio de Girón	92
Tabla 10. Enfermedades transmitidas a través del contacto con aguas infestadas de organismos patógenos	97
Tabla 11. Muestra desagregada	102
Tabla 12. Estadística Descriptiva	109
Tabla 13. Función del Estimador MCO	110
Tabla 14. Número de casos por barrio de Enfermedades Segundo Nivel	116

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfico 1. Porcentaje de muertes atribuidas a diarreas infecciosas por grupos de edad en América Latina	62
Gráfico 2, Total casos atendidos en Cesar, Bolívar y Valle por consulta externa durante el 2006	68
Gráfico 3. Histórico ICA Río Frío 2000-2004	94
Gráfico 4. ICA Rio Frío 2009-2010.....	96
Gráfico 5. Tasa de incidencia de enfermedades intestinales y de la piel en el área de estudio	105
Gráfico 6. Relación M, CDS y CT 2002-2010	108
Gráfico 7. Tasa de Morbilidad según grupos etarios.....	114
Gráfico 8. Relación Morbilidad-Distancia	115
Gráfico 8. Enfermedades de segundo nivel de mayor prevalencia por barrio.....	117
Gráfico 9. Opinión sobre la contribución de la PTAR.....	118
Gráfico 10. Afectación por eventos de segundo nivel asociados al río.....	119

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. División Político-Administrativa del municipio de San Juan de Girón.....	22
Figura 2. Localización de la Población Objeto de Estudio	26
Figura 3. Localización Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Río Frío	73
Figura 4. Esquema de tratamiento PTAR Río Frío	75
Figura 5. Funcionamiento de la PTAR Río Frío	78
Figura 6. Clasificación de las Corrientes según ICA	93

ANEXOS

Anexo 1. Índice de Escasez considerando vertimientos 2007	131
Anexo 2. Tipo de agua según concentración de DBO_5	132
Anexo 3. Contaminación hídrica: Fundamento normativo	133
Anexo 4. Características de Operación y Diseño de la PTAR Río Frío.....	134
Anexo 5. Resultados del Estimador MCO.....	135
Anexo 6. Estimación Consultas Promedio según MCO	136
Anexo 7. Formato de la Encuesta.....	137
Anexo 8. Panorámica PTAR Río Frío	140
Anexo 9. Toma de muestras en el río Frío después de la PTAR.....	141

RESUMEN

Titulo:

EVALUACIÓN ECONÓMICA Y AMBIENTAL DE LOS IMPACTOS GENERADOS POR LOS VERTIMIENTOS PUNTUALES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES RÍO FRÍO SOBRE LA POBLACIÓN ALEDAÑA AL CAUCE EN LA ZONA 3 DEL MUNICIPIO DE GIRÓN*

Autores:

GELVEZ Medina Deisy Alexandra
SEPÚLVEDA Ardila Dayanna Durley **

PLABRAS CLAVE: Agua residual, saneamiento básico, vulnerabilidad, salud, contaminación hídrica, tratamiento, externalidad, costos sociales.

DESCRIPCIÓN

El agua es un componente de la naturaleza presente en la Tierra desde hace más de 3.000 millones de años, ocupando tres cuartas partes de la superficie del planeta. En la actualidad, el impacto del cambio en los ciclos biológicos, en conjunto con el deficiente manejo del recurso, han provocado crisis recurrentes de abastecimiento de agua potable y saneamiento básico alrededor de todo el mundo.

Ubicada a cuatro kilómetros del casco urbano de Girón, la PTAR Río Frío se constituye como una herramienta de desarrollo local, diseñada para purificar las aguas residuales de cerca del 30% de la población que conforma el Área Metropolitana de Bucaramanga, coadyuvando a la rehabilitación del líquido. Para la población circundante, la inversión en estos mecanismos de purificación, debería traducirse en una mejora de la calidad ambiental o bien en una disminución de los costos asumidos para hacer frente a las consecuencias provenientes de la contaminación, generando así mayores beneficios para la sociedad. No obstante, dado que el caudal total de agua a tratar debe ser ajustado a un rango de operación mayor y a la ligera flexibilidad de la normatividad ambiental –que permite un vertimiento de partículas contaminantes superior al 10 por ciento de la carga- al presente, la disposición de residuos no tratados por parte de la PTAR Río Frío, provoca una externalidad negativa en aspectos relacionados con la calidad hídrica de la microcuenca Río Frío en la zona sur del municipio de Girón y con ella el correspondiente menoscabo de la salud de la población circundante.

* Proyecto de Grado

** Facultad de Ciencias Humanas. Escuela de Economía y Administración. Director, TÉLLEZ Sánchez Rafael Alcides, Magíster en Planificación y Administración del Desarrollo Regional

ABSTRACT

TITLE:

ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF THE IMPACTS CAUSED BY WASTEWATER TREATMENT PLANT'S DIRECT DUMPING ON POPULATION CLOSE TO THE BANK IN THE 3 AREA OF THE MUNICIPALITY OF GIRÓN*

AUTHORS:

GELVEZ Medina Deisy Alexandra
SEPÚLVEDA Ardila Dayanna Durley**

KEY WORDS: Residual water, basic sanitation, vulnerability, health, water pollution, treatment, externality, social costs.

DESCRIPTION

Water is a natural component present on Earth for more than 3,000 million years and it occupies three quarters of the planet's surface. Currently, both the impact of change in the biological cycles and a poor management of the resource have led to recurring crises of drinking water and basic sanitation around the world.

Located four kilometers from the town of Girón, the Río Frío WWTP is established as a local development tool, designed to purify the sewage from about 30% of the population that makes up the metropolitan area of Bucaramanga, contributing to the rehabilitation of the vital liquid. For the surrounding population, investment in these purification mechanisms should result in improved environmental quality or a decrease in costs to deal with the consequences of pollution stemmed. However, because of the total flow of water to be treated should be adjusted to a greater operating range and slight flexibility of environmental regulations –which allows dumping of contaminant particles greater than 10 percent- at present, the disposal of untreated waste by part of the WWTP, causes a negative externality on issues related to water quality of the Frío River in the southern municipality of Girón and with it the corresponding impairment of health of the surrounding population.

* Draft Grade

** Faculty of Human Sciences. School of Economics and Administration. Director, TELLEZ Sánchez Rafael Alcides, Master in Planning and Regional Development Administration.

INTRODUCCIÓN

La revolución industrial, además de ser el gran suceso que transformó el mundo económico, constituyó el mayor detonante de la contrariedad que experimenta hoy el conjunto de los países respecto a la degradación ambiental y en especial sobre la cantidad y calidad del agua dulce.

Las estadísticas respecto a este recurso natural son alarmantes. Más aún si se tiene en cuenta que todas las actividades emergidas del sistema acuden a él como un insumo. Si bien resulta difícil intentar predecir el grado de impacto de la escasez de este recurso y su servicio ambiental, es apenas razonable deducir que la negligencia humana en cuanto a su recuperación conlleve a su vez impactos directos e indirectos en la salud pública. Estos impactos se traducirían, en última instancia, en el incremento de la vulnerabilidad, especialmente en los países en vía de desarrollo, como resultado de la reducción de oportunidades al interferir en la educación y la capacidad de trabajo de sus habitantes.

Los impactos a los que aludirá el presente trabajo de investigación serán los de categoría directa, esto es, los relacionados con la contaminación hídrica ocasionados por la acción de los vertimientos puntuales de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) Río Frío.

La motivación de este trabajo estriba pues, en la necesidad de cuantificar y analizar la magnitud de los costos sociales, traducido en daños a la salud de la población circundante localizada río abajo, en razón de la eficiencia en la administración de la PTAR Río Frío. En términos económicos, la pérdida de bienestar de la sociedad por las enfermedades se traduce en costos directos e

indirectos (costos de salud). Parte de estos costos los debe absorber el enfermo (medicinas, alimento especial, etc.), otra parte el sector privado (la pérdida de productividad en las empresas por ausencia de los empleados) y otra parte el gobierno (consultas médicas gratuitas en los centros de salud, vacunas, medicina, subsidios, etc.). Por tanto, las pérdidas económicas afectan a todos los actores de la sociedad, no solamente al enfermo.

La razón por la cual no se toma en cuenta los impactos indirectos (atmosférico), en este trabajo, responde a que éstos ya se encuentran previamente descritos en los estudios olfatométricos de la Corporación Autónoma para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB). Los monitoreos llevados a cabo por la entidad permitieron la cuantificación del impacto ambiental sobre la comunidad que habita en las cercanías de la PTAR, analizando las concentraciones del gas que causa los olores molestos, especialmente el ácido sulfhídrico ó H_2S .

La literatura que se ha desarrollado alrededor de la valoración económica en el caso de los costos directos es extensa. Sobresalen los trabajos de R. Coase, D. Pearce, R. Turner, D. Azqueta, A. Pigou, S. Kuznets, entre otros, interesados en hacer evidente las causas antrópicas del deterioro ambiental. De esta manera, en su propósito por estudiar la relación entre el medio ambiente y la economía como ciencia social, la Economía Ambiental, a través del Método de Costos de Mitigación (MCM) provee el instrumental teórico más apropiado para cuantificar los costos erogados por los individuos en busca de la atenuación de los impactos sobre la salud una vez manifiestos los efectos de la contaminación.

La base práctica del trabajo consistirá en la contrastación del número de casos de enfermedades infecciosas y parasitarias relacionadas con el agua en un

asentamiento subnormal y tres barrios aledaños al río Frío, pertenecientes a la zona 3 del municipio de Girón, y la calidad del agua del río Frío después del punto de vertimiento de la PTAR. Utilizando la base de datos sobre consultas médicas trimestrales consignadas en los Registros Individuales de Prestación de Servicios (RIPS) en el periodo 2002-2010, proporcionada por el Hospital San Juan de Girón, se empleará como estimador el Método de Mínimos Cuadrados Ordinarios, para verificar la existencia de una relación de causalidad entre las variables mencionadas. Otras variables explicativas incluyen: los costos totales trimestrales hechos por la PTAR para mejorar la calidad del recurso, la carga contaminante de materia orgánica e inorgánica disuelta y suspendida y la empresa administradora a cargo de la Planta.

Siguiendo los lineamientos expuestos, la estructura del trabajo se desarrollará en cinco secciones. En la primera parte, se elaborará una contextualización del tema caracterizando el área objeto de estudio, subrayando los instrumentos prácticos que facilitaran el análisis; el segundo capítulo, enfatizará la teoría económica que respaldará la hipótesis general de la labor de investigación. En el tercer capítulo se resaltará la importancia de la depuración de aguas residuales, analizando para ello las generalidades de los residuos líquidos y la correspondiente gestión de este servicio a diferentes niveles. En la cuarta parte, se elaborará una especificación técnica de la PTAR Río Frío a fin entender los procesos y estudios fisicoquímicos que demuestran la alteración del río en este tramo, lo que permitirá establecer las posibilidades de afectación sobre la salud de la disposición final del agua residual, subrayando las consecuencias a mediano plazo de este foco contaminante según criterio de la autoridad ambiental. Finalmente, en el capítulo quinto se llevará a cabo un modelo experimental que facilite la estimación y el análisis de los resultados de acuerdo a la información recolectada en el trabajo de campo y la procedente de las fuentes de emisión secundaria seleccionadas.

1. CONTEXTUALIZACIÓN

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) Río Frío se constituyó como uno de los proyectos más ambiciosos para el Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB) en 1978, sin embargo su actividad purificadora ha conducido a la alteración del medio ambiente en términos hídricos y atmosféricos, debido al aumento del caudal a tratar en simultáneo con una capacidad instalada insuficiente para la población servida.

La actividad que realiza la Planta es de interés para la sociedad en su conjunto ya que representa un mecanismo tanto social como ambiental de desarrollo sostenible; de allí la importancia de valorar económicamente el impacto directo (sobre el cauce del río) de los vertimientos puntuales de la PTAR sobre la población ribereña, en este caso, los habitantes del asentamiento subnormal Los Bambúes y de los barrios Brisas del Campo, Almenares de San Juan y Girón Campestre, a fin de efectuar una aproximación sobre la eficiencia real de la Planta en el ejercicio de su labor.

El estudio de la situación expuesta se plantea a partir de las siguientes necesidades:

- Identificar los parámetros fisicoquímicos del agua en los puntos de monitoreo el Pórtico (antes de la Planta) y El Caucho (después de la Planta) con el fin de comprobar la existencia de una externalidad negativa (impacto sobre la salud) una vez usado el río como cuerpo receptor, a través de las fuentes documentales de la EMPAS y la CDMB.
- Analizar el costo social del impacto sobre la salud de la población, circundante a la rivera, a través del Método de Costos de Mitigación (MCM), determinando el gasto promedio asumido por los individuos – posible a través de la aplicación de una encuesta de auto percepción- y el sector público –observable por medio de los Registros de Prestación

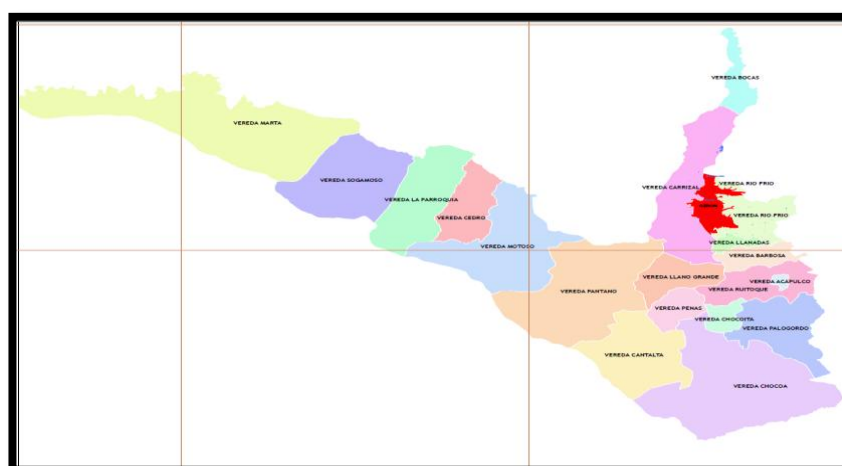
de Servicios (RIPS)- para contrarrestar la morbilidad ocasionada por la contaminación hídrica.

- Verificar la relación de causalidad entre el número de consultas médicas trimestrales (a causa de enfermedades intestinales y de la piel) de la población objeto de estudio, los costos totales de inversión y mantenimiento erogados para la rehabilitación del agua residual y el nivel de carga contaminante del efluente, mediante el desarrollo de un modelo econométrico basado en el estimador de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO).

1.1 CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS Y GEOMORFOLÓGICAS

El municipio San Juan de Girón se encuentra ubicado sobre el costado occidental de la cordillera Oriental, con una extensión total de 475.14 kilómetros. Posee una temperatura media de 24°C y una población total de 136.514 habitantes, según el censo del DANE para el año 2009, de los cuales el 13,082% se encuentra ubicado en las zonas rurales y 118.655 en la cabecera municipal.

Figura 1. División Político-Administrativa del municipio de San Juan de Girón.



Fuente: Alcaldía de San Juan de Girón

El clima de esta región oscila entre los 150 y 1500 metros sobre el nivel del mar (msnm) debido a la posición fisiográfica que ocupa entre el valle del Magdalena Medio santandereano y el macizo de Santander. Según el Centro de estudio Regionales (CER)¹, en el municipio suceden anualmente dos periodos de tiempo lluvioso y dos secos: los dos primeros comprende los meses de marzo, abril y mayo, para la primera época y octubre y noviembre para la segunda; las épocas secas están determinadas por los meses de diciembre, enero y febrero y los meses de junio, julio y agosto.

Para este estudio resulta relevante la topografía del valle del río de Oro, ya que hace parte del complejo paisajístico de la zona 3. El Valle se distingue por su tendencia a la aridez y baja pluviosidad, con zonas de producción agrícola y rastrojos altos y bajos sobre las laderas empinadas.

Por su parte, la zona 3 en su conjunto se caracteriza por ser ondulada con pendientes suaves a moderadas por lo cual se conoce como *El tropical cálido*, al encontrarse ubicada en el piedemonte del macizo de Santander. Su extensión representa el 43,56% del área total del Municipio. Geomorfológicamente, está constituida por materiales no consolidados altamente sensibles a los procesos erosivos, de ahí que se encuentra afectada por la erosión, el cárcavamiento profundo y el uso inadecuado del suelo; esta caracterización topográficamente plana suele denominarse *subzona de planicies de inundación* debido a que este territorio se encuentra en las márgenes bajas de las corrientes principales, entre las que se destacan el valle de Río de Oro y el valle de Río Frío.

Ahora, considerando los depósitos cuaternarios o recubrimiento superficial presentes en el área de estudio, se evidencian restos de coluviones (materiales depositados de forma lenta y continua sobre laderas, por la acción de la

¹ ALCALDIA DE GIRÓN. Plan de Desarrollo: Girón monumento nacional: la obra continua entre todos 2008-2011, [en línea]. [San Juan Girón, Colombia]: Alcaldía Municipal, OCT. 2008. p. 6. [consultado 16 may. 2011] Disponible en: <http://giron-santander.gov.co/apc-aa-files/64363264663566326266363830396364/PLAN_DE_DESARROLLO_11_dic_2008.pdf>

naturaleza) y de derrubios² (fragmentos de roca desplazados por una corriente o agentes atmosféricos que se depositan en una pendiente) que impiden la observación directa del sustrato rocoso de esta parte de la cabecera municipal denominada *zona 3*, convirtiéndola en un terreno inestable para la construcción.

En el valle de Río Frío la terraza ha desaparecido casi totalmente y el río Frío y sus afluentes han depositado materiales consistentes en arenas, grandes cantos y turbas arenosas; mientras que en el valle de Río de Oro varía la constitución desde conglomerados muy resistentes hasta arenas muy sueltas con características poco favorables para la construcción³.

Las condiciones físico-mecánicas regulares de la zona la convierten en un área de baja fertilidad, con excepción de las planicies de inundación que son fértiles por las periódicas crecidas de los ríos y quebradas. Lo anterior, permite que dichas planicies constituidas por arenas y gravas, sean un terreno fértil para las actividades agrícolas y pecuarias, lo que las constituye en un medio de sustento para parte de los habitantes de la zona.

De acuerdo a los usos del suelo contemplados en el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) del municipio, pueden identificarse los siguientes usos del suelo:

- Franjas urbanas constituidas por el área residencial de servicios y la zona industrial.

² Para 1997 INGEOMINAS realizó la microzonificación tectónica Fase I para el municipio de Girón teniendo en cuenta dichos aspectos. En: ALCALDIA DE GIRÓN. Plan de Ordenamiento Territorial de San Juan de Girón 2000-2009. [en línea]. [San Juan Girón, Colombia]: Centro de Estudios Regionales (CER). [citado 18 may. 2011]. p. 16. Disponible en:

<http://giron-santander.gov.co/apc-aa-files/64363264663566326266363830396364/FISICO_BIOTICO_ACTUALIZADO.pdf>

³ *Ibíd.* p. 33.

- Zonas agropecuarias dedicadas principalmente a la actividad porcina, avícola y ganadera. Sin embargo, en los últimos años se ha visto un cambio en el uso del suelo a tipo condominio y casas campestres.
- Franjas eriales o de escasa vegetación hasta llegar a suelos desérticos, con procesos erosivos severos tales como cárcavas profundas.
- Zona de rastrojos caracterizadas principalmente por estar aledañas al casco urbano y constituyen los llamados *lotes de engorde*.
- Franjas de vegetación de protección, se encuentran ubicadas como corredores a lo largo de las márgenes de quebradas y zanjones, estas zonas dentro del perímetro urbano se han catalogado como de alto riesgo ya que se convirtieron en asentamientos humanos. Estos corredores por Ley son áreas forestales protectoras y deben ser paralelos a los lados de los cauces de quebradas y ríos, con una cobertura mínima de 30 m de ancho.
- Zona de recreación.

Ubicado en la franja de vegetación, los Bambúes es la localidad que se encuentra más alejado del punto de vertimiento de la Planta, pero es el más próximo a las laderas del río con una distancia promedio de 3,9 metros desde la vivienda más cercana*. Esta localidad se inició hace veinticinco años en condiciones de invasión, sin embargo y dada la presión de los líderes comunales para lograr el reconocimiento de este lugar, fue admitido posteriormente como asentamiento subnormal por su condición social y al no encontrarse integrado plenamente a la estructura formal urbana.

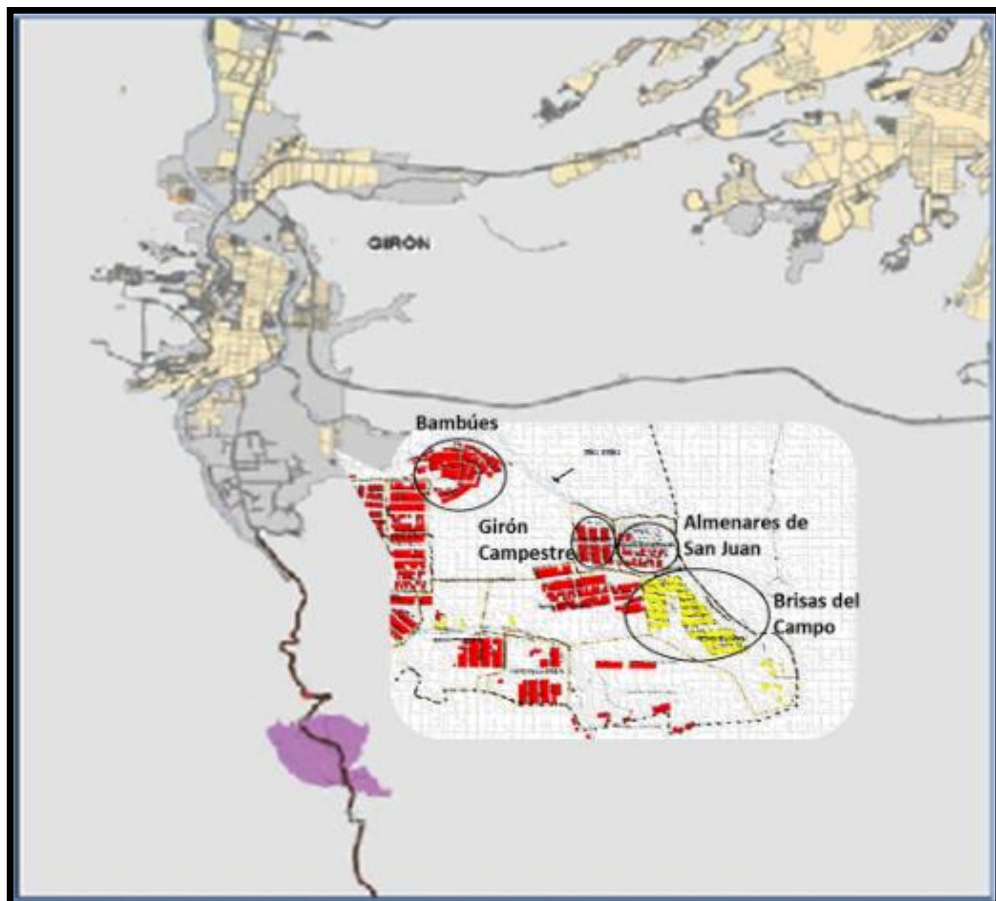
Brisas del Campo con doce años de antigüedad es el barrio más cercano al punto de vertimiento que hace la PTAR al cauce del Río Frío, no obstante la vivienda más próxima de este sector al cuerpo de agua se encuentra a 35,9 metros.

* Medición de las autoras a partir de iteraciones en línea recta durante el trabajo de campo en el área de estudio.

Por su parte, Girón Campestre se ubica en una zona en la cual la ladera del río dista del sector residencial en aproximadamente 36,8 metros, medidos en línea recta desde la propiedad urbana más cercana, posicionándolo como el barrio, entre la muestra, más distante de la rivera. La existencia de este barrio data desde el año 2000.

Finalmente, Almenares de San Juan fue constituido en el año 1999. Es el segundo de los barrios de mayor colindancia al río, pues se encuentra localizado a cerca de 35,4 metros de la unidad residencial más próxima.

Figura 2. Localización de la Población Objeto de Estudio



Fuente: Alcaldía de San Juan de Girón

Cabe resaltar que estos barrios se encuentran en zonas donde la degradación del suelo es progresiva al aumentar los periodos de lluvias y a otros factores, en este sentido:

La falta de mantenimiento a los taludes de las vías, el manejo inadecuado de las aguas de escorrentía, la alta actividad sísmica del área y las actividades antrópicas, como la expansión urbanística en áreas inapropiadas (escarpes). La forma desordenada y sin control como se ha expandido el municipio ha propiciado la utilización de áreas no apropiadas para el desarrollo de vivienda de interés social. Los urbanizadores han utilizado laderas y escarpes, rellenando cárcavas y cañadas⁴.

1.2 POBLACIÓN

1.2.1. Bambúes.

Su población se caracteriza por la deficiencia en la infraestructura de servicios públicos domiciliarios y por ser una zona en la cual vive un amplio contingente de hogares en condiciones de pobreza. También se destaca la convivencia de 2 o más familias por unidad residencial con un promedio de 11 personas por hogar, llegando en algunos casos a condiciones de hacinamiento crítico. La residencia del 83,2 por ciento de los hogares en unidades residenciales equivalentes a un cuarto o habitación refuerza la condición de hacinamiento. Tan sólo el 15,7 por ciento de hogares vive en una casa o apartamento y el restante en otro tipo unidad de vivienda (1,1 por ciento).

El consumo seguro de agua potable tampoco es garantizado con cerca del 45 por ciento de la población sin disposición del servicio de acueducto. Además, más del 68 por ciento de los hogares no cuenta con servicio de alcantarillado, lo que implica que en promedio 1.569 personas se vean afectadas diariamente

⁴ ALCALDIA DE GIRÓN. Plan de Ordenamiento Territorial de San Juan de Girón 2000-2009, Óp. Cit., p. 46.

por la ausencia de redes que garanticen la disposición segura de desechos líquidos. En este sentido, tan sólo el 37 por ciento de la población goza de inodoro con conexión al alcantarillado, el 24 por ciento posee inodoro con conexión a pozo séptico o letrina, mientras que aproximadamente el 40 por ciento o bien cuenta con inodoro sin conexión a pozo séptico ni alcantarillado o no dispone de ningún servicio sanitario, situación que podría intensificar la producción de olores en la localidad. La situación en este tema es crítica sin contar que el 26,8 por ciento de los hogares que cuentan con cualquiera de los servicios sanitarios mencionados (inodoro, letrina, etc.) debe compartirlo con al menos un hogar adicional.

De otra parte, según la Organización Zona Afecto⁵, en la actualidad hay cerca de 800 jóvenes, a razón de 3 o 4 por cada familia, entre los 13 y los 18 años que no ejerce su derecho a la educación, dedicando su tiempo a trabajar como cuentapropistas o independientes perjudicando la acumulación de capital humano y por ende, la posibilidad de incrementar la calidad del empleo y superar la situación de pobreza. Condición que se pauperiza si se tiene en cuenta que aproximadamente 627 personas no cuenta con un grado de escolaridad mínimo y tan sólo 8 de los hogares de esta localidad posee al menos un miembro del hogar: 4 de ellos con estudios técnicos/tecnológicos y los demás con estudios de pregrado universitario.

Una de las características de este sector es su propensión a inundaciones, por lo que “fue establecida como área en tratamiento de Restitución Residencial”⁶.

⁵ NAVARRO, Alixon. Siempre hay un motivo para salir adelante. En: Vanguardia Liberal. Bucaramanga. Junio, 2011.

⁶ ALCALDÍA DE GIRÓN, Plan de Ordenamiento Territorial de San Juan de Girón 2000-2009, Óp. Cit., p. 160.

1.2.2 Almenares de San Juan.

Los núcleos familiares de este barrio están conformados por un promedio de 4 personas por hogar. De estos hogares tan sólo el 6,9 por ciento de ellos convive en una casa o apartamento, los hogares restantes, es decir, sesenta y cinco de los hogares sisbenizados residen en un cuarto.

La población de este sector cuenta con una cobertura del servicio de acueducto cercana al 98,5 por ciento. Esta proporción se explica debido a la inclusión en la población del barrio de la finca *Mata de Cacao*, única familia de este sector que no dispone de servicio de acueducto.

Ahora bien, a excepción de las 4 personas que viven en la finca *Mata de cacao*, que no poseen servicio sanitario, la totalidad de los pobladores de este barrio utiliza letrina o bajamar para eliminar sus excretas. Ambos mecanismos no tradicionales constituyen importantes focos contaminantes, debido a la acumulación de excretas y la eliminación de residuos que caen directamente desde el asiento o tasa o a un lugar donde son arrastradas por el agua. Sin embargo, el 92 por ciento de ellos reporta que no debe compartir el servicio sanitario siendo éste de uso exclusivo del hogar.

En cuanto al ámbito educativo, una cuarta parte de los hogares vinculados al Sisben en esta localidad no alcanzó ningún grado de escolaridad, el 39,3 por ciento cuenta con al menos un miembro del hogar que alcanzó el nivel de primaria, el 33,5 por ciento posee al menos un miembro con estudios de secundaria mientras que tan sólo 0,7 por ciento de éstos afirma tener en el hogar una persona con estudios universitarios, esto significa que tan sólo dos hogares pueden acceder efectivamente a la sistema de educación superior.

1.2.3 Brisas del Campo.

La localidad de Brisas del Campo es el segundo barrio con mayor número de hogares sisbenizados, con un total de 180 familias vinculadas a este sistema de focalización subsidiaria. La muestra tomada comprende el 42,7 por ciento del total de esta población, gran parte de ella considerada como estrato dos.

Los habitantes de esta localidad se encuentran agrupados por familias compuestas en promedio por 6 personas cada una. Los datos relacionados a la unidad de vivienda indican que en el 88,7 por ciento de los casos estos hogares residen en un cuarto, el 10,8 por ciento en casa o apartamento mientras que el porcentaje restante lo hace en otro tipo de unidad residencial.

Actualmente Brisas del Campo cuenta con una cobertura de acueducto del 98,4 por ciento y del 99 por ciento en el caso del servicio de alcantarillado. Pero, pese a la alta cobertura en este último, el 99,05 por ciento de los hogares sisbenizados reporta que el servicio sanitario utilizado consiste en una letrina o bajamar.

El nivel educativo de esta localidad se distribuye así: el 22,5 por ciento de los hogares no posee ningún nivel formal de estudios, cerca de la mitad (46,6 por ciento) afirma que por los menos uno de sus miembros alcanzó a culminar estudios de primaria, el 29,9 por ciento señaló la finalización de estudios de primaria en algún pariente de su núcleo familiar mientras que tan sólo el 0,2; 0,6 y 0,09 por ciento de los hogares afirmó que al menos uno de sus integrantes logró terminar sus estudios de bachillerato, universidad y postgrado respectivamente.

1.2.4 Girón Campestre.

Cincuenta hogares vinculados al Sistema de Identificación y Clasificación de Potenciales Beneficiarios para Programas Sociales residen en esta zona de Girón. De ellos se tendrá en cuenta para la muestra un conjunto de 21 hogares pertenecientes a una estratificación urbana de nivel uno.

Las características de esta población se identifican observando el número de personas por hogar, la cobertura de servicios públicos domiciliarios y la formación de capital humano a través del nivel educativo logrado, variable que determinará, en buena parte, la capacidad económica de las familias para hacer frente a la contaminación.

Primeramente, los hogares en este sector se encuentran constituidos por 3 personas por hogar, de los cuales el 35,1 por ciento vive en un cuarto o habitación, el 50,6 por ciento en una casa o apartamento y el 14,5 por ciento en otro tipo de unidad de vivienda. Lo anterior indica que pese a que más del 80 por ciento del barrio habita en infraestructuras de cemento o algún material resistente, aproximadamente 25 hogares subsiste en viviendas construidas con materiales de calidad no especificada. Al no contar con las instalaciones adecuadas, la disposición inocua de residuos (sólidos y líquidos) al interior de la vivienda representa un serio problema para algunas familias en particular.

No obstante, pese a que el número de habitantes de esta localidad es mucho más reducido que el anterior, las necesidades de alcantarillado aún son evidentes con cerca de 63 familias en ausencia de este importante servicio público. Los rubros más significativos respecto al servicio sanitario los representan la carencia del mismo en un 15,5 por ciento de los casos y el uso de letrinas y bajamar en el 70,1 por ciento de los casos. Aún con esta condición, una tercera parte de la población asevera que debe compartir el servicio sanitario disponible en el hogar con otras familias. Asimismo, en promedio 153 personas carecen de abastecimiento de agua mediante el servicio de acueducto.

El nivel educativo de este grupo poblacional, perteneciente a la comunidad de Girón Campestre, oscila entre primario (63,8%) y secundario (12,1%). Ello genera gran preocupación, si se tiene en cuenta que la tendencia actual de la economía refleja cómo “la formación de empleo formal se está presentado de manera más importante para personas con educación superior, mientras que los puestos de trabajo para los no calificados crece a un ritmo menor”⁷. En este sentido e infortunadamente la recuperación económica de los dos últimos años no se ha visto reflejada en una demanda por trabajo formal para las personas poco educadas.

1.3 DIAGNÓSTICO EPIDEMIOLÓGICO DEL MUNICIPIO

Según el Plan de Desarrollo Municipal “Girón Monumento Nacional: La Obra Continua Entre Todos 2008-2011”⁸, no existe información detallada y confiable sobre los datos de morbilidad de la población. No obstante, el documento preparado por la alcaldía de Girón, recopila dicha información a través de los estudios epidemiológicos elaborados por el Observatorio de Salud Pública de Santander, veedor en el departamento del diagnóstico general de la morbilidad.

Gracias al análisis preliminar de esta entidad, sobre el estado de salud de los habitantes en algunos municipios, fue posible identificar las principales causas de morbilidad en la población del casco urbano de Girón, entre ellas se encuentran⁹:

1. Enfermedades agudas del aparato respiratorio: Generalmente asociado al estilo de vida, abandono y falta de interés de los padres ante los inicios de enfermedades gripales, mal diagnóstico de los médicos y contaminación atmosférica.

⁷ BOGOTÁ. BANCO DE LA REPUBLICA. Informe de la Junta Directiva al Congreso de la República (Marzo 2011). p. 49. ISSN - 1657 - 799X.

⁸ ALCALDIA DE GIRÓN. Plan de Desarrollo: Girón monumento nacional: la obra continua entre todos 2008-2011, Óp. Cit., p. 51.

⁹ *Ibíd.*, p. 71.

2. Enfermedades del sistema digestivo: Debido al desbalance nutricional e inadecuada manipulación de los alimentos y a factores de contaminación ambiental.
3. Enfermedades Cardiovasculares: Por la poca o nula cultura de ejercitación física y la ausencia de de otros hábitos saludables.
4. Enfermedades Vectoriales (Dengue): Por condiciones de contaminación generalizada.
5. Enfermedades Mentales: Atribuibles a factores sociales que rodean al Municipio.

Los principales factores asociados a la morbi-mortalidad están relacionados con las condiciones del medio ambiente, la impotabilidad del agua, la indebida disposición de basuras y excretas, hábitos higiénicos inadecuados, violencia intrafamiliar o callejera, falta de cuidado del aparato reproductor. Este análisis previo permite entrever las deficientes condiciones sociales en que viven los habitantes de Girón, en cuanto al saneamiento básico, la limitación de recursos para una adecuada nutrición y la deficiente cultura del auto cuidado.

Ahora bien, en concordancia con las características epidemiológicas del municipio, se seleccionaron, en los Registros Individuales de Prestación de Servicios del HSJG, las enfermedades contenidas en la Sentencia* T-851/10 que coincidieron con las radicadas en la Clasificación Internacional de Enfermedades (CIE) Revisión Décima y de ésta última las enfermedades con códigos comprendidos entre A00 y A09 correspondientes a enfermedades intestinales de presunto origen infeccioso, tenidas en cuenta por el Ministerio de la Protección Social, ya que éstas se presentan, también a nivel nacional, como una de las principales causas de morbilidad en el país.

* De las enfermedades contenidas en la Sentencia once fueron excluidas del estudio debido a que ya se encuentran controladas en el país, éstas son: Pilán, lepra, esquistosomiasis urinaria, dracontiasis, oncorcercosis, sepsis de la piel, paragonimiasis, fasciolopsiasis, clonorquiasis y filariasis de bancroft. La conjuntivitis tampoco se tomó en cuenta ya que las fuentes de contagio son muy diversas.

2. MARCO TEÓRICO

Los que se enamoran de la práctica sin la teoría son como los pilotos sin timón ni brújula, que nunca podrá saber hacia dónde van.

Leonardo da Vinci

2.1 DESARROLLO SOSTENIBLE

Los impactos ambientales producidos por la industria y los que generará el consumo desmesurado que promueve la globalización, conllevó a impulsar el concepto de desarrollo sostenible en la denominada cumbre de Brundtland¹⁰ de 1987 al caracterizarlo como un modelo económico necesario de incorporar dentro de los planes de desarrollo contemporáneos, concluyendo que el término sostenibilidad indica “satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades”¹¹. En este sentido, el concepto apunta a la adopción de algunas limitaciones –no absolutas- en función al estado actual de la tecnología y la organización social sobre el uso de los recursos del medio ambiente y la capacidad de la biósfera para absorber los efectos de la actividad humana.

A groso modo, es posible evidenciar que la sostenibilidad fue y continúa siendo un incesante proceso de construcción de una alternativa de desarrollo económico en función del tiempo y el espacio. Así, el desarrollo sostenible ya no es definido de modo abstracto, sino como “la gran estrategia de cambio para el logro de una finalidad: un nuevo modelo de bienestar capaz de conjugar dos

¹⁰ WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT. Our Common Future Oxford. Citado por: ROJAS, Carlos Alberto. Desarrollo Sostenible una Visión Crítica. En: Salud ambiental: un aporte al manejo del ambiente para una salud de calidad en el Perú. [Lima, Perú]: Ministerio de Salud; Univ. Nac. Mayor de San Marcos, 1997. p. 27. [consultado 9 Jul. 2011]. Disponible en: <<http://www.bvsde.paho.org/eswww/fulltext/repind68/roj/roj.html> >.

¹¹ MARTINEZ, Alier; ROCA, Jusmet. Economía ecológica y política ambiental. 1 ed. Ciudad de México, México. Ed. Fondo de cultura Económica. p.1998. 119. ISSN 968-5998-8.

revoluciones: la eficiencia técnico-económica y la suficiencia cultural-simbólica”¹².

De esta manera y aunque acogido universalmente, el concepto de desarrollo sostenible, evidencia la brecha entre progreso y durabilidad temporal, que continúa dilatándose a pesar de los innumerables esfuerzos que realizan algunos de los países al utilizar técnicas de producción limpia. Además, el referente de este tema ha planteado en numerosas ocasiones cómo la relación ambiente sano y desarrollo humano conlleva, de manera implícita, una dicotomía entre crisis planetaria y confort social, pues “al tratar de mejorar la calidad de vida –desde el consumo ostentoso-normalmente se incurre en una contravención a la biósfera”¹³; mientras que, si se trata de recuperar diversos ecosistemas por medio de zonas protegidas, por ejemplo, la industria se verá afectada.

Lo anterior remite a la sostenibilidad en términos de eficiencia ecológica como “la reducción del impacto de la actividad productiva sobre el ambiente sin disminuir la capacidad de carga y sin olvidar que los seres humanos tienen derecho a una vida sana y en armonía con la naturaleza”¹⁴. Entonces, los límites de la sostenibilidad deberán definirse también desde una visión sociopolítica y no sólo física.

En Colombia el concepto de desarrollo sostenible se instauró bajo los principios universales contenidos en la Declaración de Río de Janeiro de junio de 1992, orientando el desarrollo económico y social del país hacia nuevos fundamentos de política ambiental; como consecuencia de lo anterior, fue creada la Ley 99 de 1993, que promovió “la reorganización del Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos

¹² BECKER, Egon. Ecología global y sociedad mundial. Citado por: ROJAS, Carlos. Óp. Cit. p. 40.

¹³ *Ibíd.*, p. 107

¹⁴ MARTINEZ y ROCA. Óp. Cit. p. 388.

naturales renovables, a través del establecimiento del Ministerio del Medio Ambiente y la estructuración del Sistema Nacional Ambiental, SINA”¹⁵.

2.2 ECONOMÍA AMBIENTAL

La conservación de la biodiversidad obedece a la relación que ésta tiene con las necesidades de la civilización. Sin embargo, la racionalidad económica que desembocó en la asignación de precios a los bienes y servicios ambientales, incluyendo los costos de compensación, durante años no dio trascendencia al límite que tienen los recursos naturales especialmente aquellos no renovables.

El contenido teórico-matemático de la economía ambiental ha planteado que el valor de estos bienes ambientales se encuentra en función de las preferencias de los individuos: “los bienes ambientales tendrán un valor cuantitativo siempre que las funciones de utilidad de los individuos se vean afectadas, por lo que es posible expresar en unidades monetarias cuánto estarían dispuestos a pagar para que su utilidad no se altere”¹⁶.

Pero, la conversión de los daños a unidades monetarias, para efectos de compensación, puede ser artificiosa pues

(...) no se debe olvidar que la base de recursos es finita, la dotación de depósitos de determinadas características de concentración y accesibilidad necesariamente disminuye, y la utilización masiva de un recurso (especialmente si la extracción crece de manera exponencial) llevará a una situación en la que la exploración y descubrimiento de nuevas reservas (que en algún momento ha de experimentar rendimientos

¹⁵ COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 99 (22, Diciembre, 1993). Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 1993. no. 41146.

¹⁶ MARTINEZ y ROCA. Óp. Cit., p. 388.

decrecientes) y el avance técnico no serán suficientes para evitar un agotamiento de las reservas estimadas o totales. Por último hay que señalar que es importante darse cuenta de que los límites al uso de un recurso no están solo en su agotamiento físico y las crecientes dificultades de explotación, sino también en los impactos ambientales que tiene dicho uso; con ello recordamos el doble papel de la naturaleza como proveedora de recursos y como receptora de residuos¹⁷.

2.2.1 Externalidad.

La economía ha reconocido los impactos ambientales así como el problema de los impactos sociales promovidos por las decisiones económicas a nivel individual. En términos económicos, los costos y beneficios privados tienden a coincidir con los costos y beneficios sociales, pero cuando estos no concuerdan, como sucede en la mayoría de los casos, se reconoce la existencia de efectos externos (o externalidades). Una externalidad puede ser definida como “cualquier acción ejecutada por un individuo consumidor o por un individuo productor que afecte o influya en la función de utilidad de otro consumidor o la función de ganancias de otro productor ”.¹⁸

Las externalidades, término introducido por Alfred Marshall en el siglo XIX, fue empleado, inicialmente, para discutir la reducción en los costos que no eran resultado de las decisiones de la firma, sino que se originaban fuera de ella y por lo tanto representan los efectos que son externos de la empresa pero propios de la industria. Convenía, pues, explicar una posible falla del mercado con el fin de armonizar el concepto de equilibrio general y el de sistema económico cerrado dentro del instrumental matemático de la época. No obstante, economistas como Kapp¹⁹ afirman que las externalidades no son

¹⁷ *Ibíd.*, p. 295.

¹⁸ BAUMOL, W.J. & OATES W.E. *The Theory of Environmental Policy*. [En línea]. Ed. Prentice Hall. Nueva Jersey, 1975. p. 15. [consultado 18 Jun. 2011]. Disponible en: <http://books.google.com/books/about/The_theory_of_environmental_policy.html?id=F4->.

¹⁹ *Ibíd.*, p. 17.

fallos del mercado sino más bien deplorables éxitos en transferir costos a otros. Por tanto, el concepto de externalidad se produce no cuando existe algún impacto ambiental, sino cuando éste afecta a la función de beneficios de las empresas o cuando es percibido por las personas afectadas.

El punto clave de este concepto radica en que siempre que exista una situación de por medio que tenga que ver con las decisiones de los individuos, involucrará implícitamente el inicio de efectos externos sobre algunas de las dos partes involucradas. En la actualidad, este concepto se torna más complejo si se tiene en cuenta que algunos casos las externalidades involucran sistemas combinados de bienes o servicios ambientales. Además, como lo señala Mendieta²⁰, al problema de clasificar los diferentes tipos de bienes y servicios que prestan los ambientes naturales para asignarles su respectivo valor, se suma el hecho de que estos bienes no cuentan con un mercado explícito en el que pueda conocerse el legítimo valor del recurso.

2.2.2 Impactos ambientales vs costos sociales.

Al analizar el tema de las actividades económicas, desde el punto de vista neoclásico, es evidente la paradoja que cuestiona la función que éstas realizan dentro de la sociedad, en tanto que además de suministrar los bienes y servicios necesarios para el bienestar social, generan contaminantes o perjuicios colaterales que disminuyen la calidad de vida. Por ende, gran parte de los sectores económicos dedican una porción de sus gastos a mitigar hasta que “a la larga se llegará a la situación absurda de que la economía debe crecer más y más para proteger a la ciudadanía y al medio ambiente de los daños colaterales causados por el crecimiento económico”.²¹

²⁰ MENDIETA, Juan Carlos. Economía Ambiental. En: Programa de Magíster en Economía del Medio Ambiente y de los recursos naturales. [En línea]. Bogotá, 2000; p. 52 [consultado 18 May. 2011]. Disponible en: <[http://www.infoiarna.org.gt/media/file/areas/economia/documentos/interna/\(2\)%20economia%20ambiental-%20mendieta.PDF](http://www.infoiarna.org.gt/media/file/areas/economia/documentos/interna/(2)%20economia%20ambiental-%20mendieta.PDF)>.

²¹ MARTINEZ y ROCA. Óp. Cit., p. 79.

Esto sucede porque gran parte de dichos gastos no se contabilizan como costos que se añaden al proceso productivo, y que se sustentan en el concepto de *defensivos* al expresar que es una protección en contra de los indeseados efectos colaterales de otras producciones. Es por tal motivo, que la recurrencia a estos costos es indispensable para contrarrestar algunos impactos o mitigar el daño ocasionado y por lo tanto deben ser tenidos en cuenta, también, dentro del sistema.

2.2.3 Salud y bienestar social.

Uno de los servicios más importantes del medio ambiente es la provisión de soporte a la vida humana. Esta apreciación permite inferir que los impactos sobre el medio ambiente por los problemas de contaminación, afectan, de manera directa, las condiciones para el buen desarrollo de la vida humana. Estos impactos pueden manifestarse en términos de incrementos en la tasa de morbilidad o en la probabilidad de contraer cualquier enfermedad relacionada con el bien ambiental en proceso de alteración. Desde el punto de vista económico, estas consecuencias negativas derivadas del deterioro del medio ambiente son reducidas al concepto pérdida en utilidad o bienestar de los individuos.

La contaminación ambiental que afecta la salud de las personas puede generar pérdidas en el bienestar a partir de la generación de gastos médicos asociados con los tratamientos a las enfermedades inducidas por la contaminación del ambiente –incluyendo el costo de oportunidad del tiempo gastado en obtener el tratamiento- pérdida de salario, gastos en actividades defensivas y de evasión, de sutilidad asociada con los síntomas de la enfermedad, pérdida de oportunidades de goce del tiempo libre y finalmente, cambios en las expectativas de vida o en el riesgo de muerte prematura.

Freeman²² señala que la influencia de la contaminación sobre la salud de las personas puede manifestarse a través de:

- a) Compuestos orgánicos, los cuales pueden contaminar acuíferos usados como fuentes de agua para consumo humano.
- b) La contaminación del aire por altos niveles de ozono o de dióxido de azufre, los cuales pueden generar con frecuencia y severidad, ataques de asma a las personas.
- c) Emisiones provenientes de fábricas, talleres de reparación y pintado de automóviles, los cuales pueden emitir diferentes contaminantes que generan efectos cancerígenos en las personas.
- d) Agotamiento del ozono estratosférico, causando el incremento en los niveles de radiación ultravioleta, y aumentando la incidencia de cáncer entre las personas.
- e) Aguas sucias que no reciben un tratamiento adecuado o a través de la filtración al subsuelo de agua sucia almacenada en tanques sépticos, los cuales pueden ser la fuente principal para la proliferación de agentes vírales o bacterianos que pueden generar enfermedades en los humanos al consumir agua de fuentes contaminadas con estos patógenos.

La valoración económica de los impactos de la contaminación ambiental sobre la salud humana, está fundamentado en el supuesto de que las preferencias de los individuos están caracterizadas por la sustituibilidad entre el ingreso y la salud. En este sentido, las personas asignan un valor a la salud a través de un *trade-off* que implica la elección entre varias canastas de salud y otros bienes de consumo. Esta disyuntiva entre ingreso y salud puede ser interpretada como una medida de disponibilidad a pagar del individuo por una mejora en su estado de salud.

²² FREEMAN, M. The measurement of environmental and resource values. Theory and Methods. Resources for the Future, Washington, D.C. 1993. Citado por: MENDIETA, Juan Carlos. Óp. Cit., p. 262-263.

2.3 MÉTODOS DE VALORACIÓN ECONÓMICA

En concordancia con las variaciones observadas en la calidad de vida de los individuos ante cambios en el medio ambiente, la economía de bienestar, “fue la base estructural que originó la metodología de medición de valor económico”²³.

La valoración económica se establece, por consiguiente, como una herramienta que permite “medir bajo una unidad común, las ganancias económicas que tiene para la sociedad conservar, proteger, restaurar, o recuperar el medio ambiente y los recursos naturales; o por el contrario, los costos de la contaminación, la sobreexplotación y el deterioro de los mismos”²⁴. Se puede entender también, como el conjunto de métodos que se basan en la propensión a pagar/recibir de los individuos para tener, usar o mantener un determinado grado de utilidad, y cuyo fin último consiste en la evaluación de las políticas ambientales para generar eficiencia económica en el uso de los recursos naturales.

Sin embargo, la economía ambiental se enfrenta a una seria dificultad al momento de revolver el problema de la valoración del medio ambiente y es definir quién le da valor a éste, especificar cuáles son los derechos de aquellos usuarios de bienes y servicios ambientales y cuáles los de los que no son usuarios. Este punto resulta sumamente complejo considerando que es muy frecuente que aquellos que provocan un efecto nocivo sobre el medio ambiente son diferentes de aquellos quienes deben padecerlo. Esta situación se hace extensiva tanto a comunidades como a regiones y países.

²³ LOPEZ Oliveros, Isnardo. Valoración económica de la contaminación por olores en el área de influencia del relleno sanitario el carrasco: una aplicación de la metodología de precios hedónicos. Colombia: Universidad Industrial de Santander. 2006. p 30.

²⁴ CASTIBLANCO Rozo, C. (2005). Manual de valoración económica del medio ambiente. Citado por: LOPEZ Oliveros. *Ibíd.*, p. 33.

Mendieta²⁵ señala que existen tres argumentos muy importantes para creer interesante y necesaria la valoración de los bienes ambientales. La primera, es el problema de las fallas de mercado que causa fundamentalmente una asignación deficiente de estos bienes. La segunda, es la forma de proveer los bienes públicos a la sociedad de una manera eficiente. El último argumento resulta de la presencia de los daños causados por la contaminación, que traen consigo pérdidas significativas en el bienestar social ya sea por deterioro o por carencia de los recursos naturales.

2.3.1 Métodos Indirectos.

La valoración de los bienes y servicios ambientales a diferencia de aquellos de tipo mercadeable cuya valoración se realiza a través de los métodos convencionales (estimación de las curvas oferta y demanda utilizando información de mercado), se realiza a partir de dos enfoques.

El primero de ellos catalogado por la economía ambiental como métodos indirectos, está fundamentado en la relación existente entre la observación sobre el comportamiento de los individuos en los mercados y su relación con los bienes no mercadeables; al pretender que, de acuerdo con las preferencias reveladas de los individuos, el precio que pagan los consumidores por un bien sea el valor que representa para ellos un nivel de utilidad.

El enfoque indirecto, según Mendieta²⁶ puede clasificarse en:

- La función de producción de hogares, que incluye el método de comportamiento adverso, en el que los individuos podrán invertir en aquellas actividades que les permitan evadir los efectos negativos de la contaminación. Se emplea generalmente, como medida de aproximación del valor de un daño a un recurso ambiental.

²⁵ MENDIETA. Óp. Cit., p. 42.

²⁶ Ibid. p. 199.

- El método de costo de viaje, que permite estimar el valor económico de recursos naturales y ambientales que pueden brindar servicios de recreación a las personas, en función del costo de oportunidad del tiempo en que incurren los individuos para acceder al sitio de recreación.
- El método de aproximación por medio de la función de daño, el cual parte de la premisa de que cualquier cambio en la calidad o cantidad provista por el medio ambiente provocará un cambio en el nivel de producción o en el nivel de costos de aquellos entes económicos que utilizan el medio ambiente como insumo.
- El modelo de precios hedónicos, que permite valorar el precio de un bien en función del conjunto de atributos o características inherentes al bien.
- El método de costos evitados, que contempla los cambios que se producen en la función de producción de utilidad de las personas ante una alteración en los niveles de calidad ambiental.

2.3.2 Métodos directos.

El segundo enfoque de valoración de los bienes no mercadeables es el que tiene que ver con los métodos directos también conocido como el método hipotético, puesto que al no contar con ningún tipo información sobre las cantidades transadas del bien en el mercado o el precio de los mismos, se debe recolectar a partir de encuestas que plantean escenarios hipotéticos de valoración del bien al construir un mercado que permita vislumbrar las preferencias de los individuos sobre dichos bienes o servicios.

Sin embargo, los anteriores métodos de valoración no convencionales presentan una serie de limitaciones de medición, entre las cuales se encuentra la premisa de que los recursos naturales solamente son monetarizables cuando son útiles para el ser humano; “la dificultad de medición ocurre cuando se pretende encuadrar el medio ambiente como otro bien de consumo cualquiera. Muchas veces, el medio ambiente se presenta como un bien público puro, no

apropiable ni exclusivo, gratuito, no monetarizable, inclusive no consumible, aunque útil para todos, como es, por ejemplo, la capa de ozono²⁷.

Ahora bien, poniendo énfasis en la valoración de los impactos ambientales, Edien²⁸ (1995) plantea una clasificación alternativa para los métodos de valoración económica: El Enfoque de Valoración Objetivo (EVO) y el Enfoque de Valoración Subjetivo (EVS).

Los métodos agrupados bajo el EVO se fundamentan en medidas del daño derivados de relaciones técnicas o físicas subyacentes, susceptibles de medir o estimar estadísticamente, entre el nivel de actividad nociva y la magnitud del daño (función de daño). En el uso de estas técnicas, el comportamiento de los consumidores o individuos es asumido.

Los métodos agrupados en el EVS se basan en las percepciones de los individuos y evaluaciones subjetivas de los posibles costos del daño, estimados a partir de comportamientos observados en el mercado o en disponibilidades a pagar o aceptar compensaciones expresadas en encuestas. En la tabla 1, se resume los diferentes métodos clasificados en las categorías mencionadas.

²⁷ CHANG, Man Yu. La economía ambiental. [En línea]. Capítulo 6. p. 184. [consultado 9 Jul. 2011]. Disponible en: «http://www.estudiosdeldesarrollo.net/coleccion_america_latina/sustentabilidad/Sustentabilidad_9.pdf»

²⁸ BARZEV, Radoslav. Guía metodológica de valoración económica de bienes, servicios e impactos ambientales. [En línea]. En: Corredor Biológico Mesoamericano. SERIE TÉCNICA 04. [Nicaragua] p. 26. Agosto, 2002. [consultado 11 Jul. 2011]. Disponible en: <http://xsei.centrogeo.org.mx/vedet/biblioteca/val_eco_deg/VE_Valoraci%F3n%20CBM.pdf>

Tabla 1. Tipologías alternativas para los métodos de valoración de los impactos ambientales

Método de Valoración	Efectos Valorados	Bases para la Valoración
Valoración Objetiva		
Cambios en la Productividad	Productividad	Técnico/físico Comportamiento asumido
Costos de Salud	Salud (Morbilidad)	Técnico/físico Comportamiento asumido
Capital Humano	Salud (Mortalidad)	Técnico/físico Comportamiento asumido
Costos de Reposición/Reubicación	Activos de Capital Activos de Recursos Naturales	Técnico/físico Comportamiento asumido
Valoración Subjetiva		
Gastos Preventivos/ de Mitigación	Salud, Productividad, Activos de Capital, Activos de Recursos Naturales	Comportamiento (Revelado)
Precios Hedónicos Valor de la propiedad/terreno	Calidad Ambiental, Productividad	Comportamiento (Revelado)
Diferencial de Salario	Salud	Comportamiento (Revelado)
Costo del Viaje	Activos de Recursos Naturales	Comportamiento (Revelado)
Valoración Contingente	Salud, Activos de Recursos Naturales	Comportamiento (Expresado)

Fuente: BARZEV, Radoslav

2.3.3 Estimador MCO.

Un método para estimar un modelo de regresión múltiple en que el que desee establecer alguna relación de causalidad entre variable sociales y ambientales, expresado por $Y = X_1\beta_1 + X_2\beta_2 + \dots + X_k\beta_k + U$ es minimizando la suma de los cuadrados de los errores estimados por el modelo. Este método se conoce como el método de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO).

Estimar el modelo equivale asignar valores numéricos a los parámetros desconocidos $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$, a partir de la información muestral disponible de las variables observables del modelo. El estimador MCO es de gran utilidad, especialmente en el análisis económico, sin embargo posee algunas

limitaciones ya que su significancia está subordinada a las propiedades estadísticas que se exponen a continuación:

1. El término de perturbación se distribuye normalmente con media cero y varianza constante σ^2 ;

$$u \sim N(\mu, \sigma^2)$$

2. La esperanza del término de perturbación es igual a cero.

$$E(u) = 0$$

3. Las perturbaciones u_i, u_j no están correlacionadas, a este supuesto se le da el nombre no autocorrelación.

$$Cov(u_i, u_j) = 0 \quad \text{para } i \neq j$$

4. Existe homoscedasticidad, o igual dispersión; esto es, la varianza de u_i es un número constante igual a σ^2 .

$$E(u_i^2) = \sigma^2$$

5. Las perturbaciones de u y las variables explicativas no están correlacionadas.

$$Cov(u_i, X_i) = 0$$

Si el modelo de regresión lineal cumple con los supuestos antes mencionados, entonces los estimadores de los parámetros obtenidos a partir de este método son óptimos, es decir, son insesgados, consistentes y eficientes.

2.4 MÉTODO DE COSTOS DE MITIGACIÓN

Se distingue entre los métodos de valoración económica que tiene en cuenta el valor de uso indirecto de un activo ambiental. El método de costos de mitigación (MCM) también denominado gasto en prevención y mitigación, se basa en el comportamiento que desarrollan las personas para evitar y/o contrarrestar los impactos ambientales negativos a que son expuestas.

El supuesto básico de este método consiste en que los insumos utilizados en la mitigación (por ejemplo, botas pantaneras para atravesar el río, tapabocas, medicamentos) no proporcionan satisfacción por sí mismos, sino a través de los cambios en los atributos ambientales (grado de morbilidad). Según Múnera y Correa²⁹ la premisa básica consiste en que el individuo realizará el gasto si el beneficio –generalmente subjetivo- que le proporciona la mitigación es mayor que el costo asociado. En otras palabras, para los individuos será conveniente, en términos económicos, mitigar hasta el punto en que el beneficio de mitigar es igual al costo de hacerlo.

De esta manera, el MCM intenta cuantificar lo que la persona está dispuesta a gastar para aliviar la molestia causada por la alteración del factor ambiental, esta condición se infiere mediante los gastos que se realizan en bienes de mercado para compensar o disminuir la molestia dado el daño en el bien ambiental en cuestión. Así, esta metodología resulta de gran utilidad para la valoración de los impactos físicos fácilmente identificables por los individuos y para los cuales existe la posibilidad de prevenirlos o reducirlos.

Asimismo existen otros métodos que proporcionan una estimación más precisa del valor económico ante cambios en la calidad ambiental a través de los cambios generados en la salud de las personas. Entre los comúnmente usados está el denominado Método de la Función de Producción de Salud, basado en el supuesto de que “los individuos conocen su función de producción escogiendo el nivel óptimo de producción y seleccionando los insumos para minimizar los costos relacionados con un determinado nivel de salud”³⁰. Esta metodología relaciona variables exógenas (incluyendo variables ambientales), y variables de elección (medicina preventiva y costo de tratamiento) que hacen de ésta una buena elección a la hora examinar la relación salud-contaminación.

²⁹ MÚNERA, Juan David y CORREA, Francisco. Valoración económica de costos ambientales: marco conceptual y métodos de estimación. [En línea]. Colombia: Universidad de Medellín. Semestre Económico (enero-junio, 2004) vol. 7, núm. 13. p. 174. [consultado 15 Abr. 2011] Disponible en: <<http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/1650/165013657006.pdf>>

³⁰ MENDIETA. Óp. Cit., p. 278.

No obstante, en el presente trabajo, se descarta su posibilidad de elaboración ya que el método precisa del seguimiento de un conjunto de individuos en diferentes periodos de tiempo, es decir, de información longitudinal. Sólo a través del estudio del comportamiento del mismo contingente de población se viabiliza el conocimiento de la disponibilidad a pagar (DP) de las personas para lograr la reducción de cierto nivel de contaminación.

En 1986, Gerking y Stanley lograron una buena aproximación de la DP de los ciudadanos de San Luis, en Estados Unidos , utilizando variables tales como gastos médicos, edad, salario por hora, sexo, calidad del aire, etc. La aplicación de este método fue factible gracias a la identificación y estudio de 2197 personas oriundas laboralmente activas, que reflejaron comportamientos disímiles entre 1977-1980.

2.4.1 Antecedentes.

Entre los estudios realizados que permitieron hacer una aproximación sobre los costos de mitigación, asociados a una externalidad, se encuentra el trabajo de costos de mitigación de gases de efecto invernadero: Canadá y México, sustentado por Pablo Ruiz Nápoles , profesor titular adscrito al posgrado en economía, de la Universidad Autónoma de México (UNAM) intentando calcular los costos, en términos de producto, asociados a la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), esto es, el gasto corriente e inversión en reducción de GEI si no se adopta un cambio tecnológico, lo que afectaría en buena medida su producción bruta, e indirectamente la de las otras ramas, con consecuencias significativas en el producto neto y el empleo.

La publicación hecha por el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza³¹ que aduce a los costos defensivos derivados de la contaminación

³¹ BONILLA, Solhanlle. Costos defensivos derivados de la contaminación del agua en área rural, cuenca media del rio Yaque del norte, República Dominicana. En: seminario internacional

del agua en el área rural de la cuenca media del río Yaque del norte en República Dominicana, determinando así, el costo económico para la población rural de la contaminación de las aguas del cuerpo hídrico mencionado.

Otra de las investigaciones realizadas a partir de métodos de valoración económica basados en costos los representa el estudio elaborado por el Centro de Estudios de Finanzas Públicas³² titulado “Cambio climático y finanzas públicas en México” en el que se analiza la magnitud del gasto efectuado para enfrentar las contingencias sociales y de salud pública que puedan suscitarse por el cambio climático en ausencia de una estrategia estatal diseñada para reducir el impacto de este fenómeno.

Durante la revisión de casos de estudio, no se encontró la realización de trabajos a nivel nacional basado en este método de costos. Lo mismo sucedió a nivel local. Lo anterior no implica que efectivamente no exista ningún precedente en el país y la región sobre costos de mitigación, puesto que éstos pudieron haber sido elaborados en el marco de una concepción epistemológica, del concepto de mitigación, distinta o bien con otras variantes de este método, factores que pudieron dificultar el hallazgo de la evidencia empírica respectiva.

2.4.2 Limitaciones.

Todos los métodos poseen ciertas limitaciones o debilidades que deben ser tenidas en cuenta para saber con mayor seguridad qué se está valorando. Estas son algunas limitaciones del MCM:

bosques tropicales y desarrollo. Bosques naturales y desarrollo. Medellín, Colombia. Noviembre, 2008. 113 p.

³² CENTRO DE ESTUDIOS DE LAS FINANZAS PÚBLICAS. Cambio climático y finanzas públicas en México. Notacefp 2011.

- Dado que generalmente las personas consideran poco probable el agravamiento de los impactos generados por algún evento, no es posible obtener la máxima disposición a pagar por mitigar o aliviar la molestia asociada a ese evento, por lo cual el MCM entregará siempre una subestimación del valor del impacto ambiental sobre la salud.
- La estimación del valor está restringida por la capacidad de pago de la población en riesgo. Este problema se ve aún más claro en los países en desarrollo, donde puede existir la disposición a gastar en protección, pero son gastos no realizables por la restricción presupuestaria.
- El supuesto de que no hay beneficiarios secundarios asociados al MCM, puede producir subestimaciones. Por ejemplo, el uso de medicamentos no sólo reduce el grado de morbilidad del paciente (beneficiario primario), sino que también permite disminuir el riesgo de propagación y afectación a otro miembro de la familia (beneficiario secundario).
- Cuando los cambios ambientales son recientes o han ocurrido en forma muy rápida, las consecuencias totales de los cambios o daños ambientales pueden ser sólo percibidos por las personas afectadas directamente en el corto plazo. En esos casos un nivel observado de costos de mitigación puede ser una mínima estimación del valor del daño, ya que el universo de personas afectadas en el largo plazo puede ser mayor, y ese valor no se estaría percibiendo.

3. GENERALIDADES SOBRE EL AGUA RESIDUAL

Mientras el hombre fue nómada la naturaleza fue su inodoro. Sus necesidades las satisfacía donde y cuando ellas se lo exigieran. Pero una vez se volvió sedentario, se le planteó una necesidad nueva: la de deshacerse de sus residuos tan lejos como le pidiera su nariz pero tan cerca como exigiera su sistema digestivo.

Y. Valery

3.1 TÉCNICAS DE TRATAMIENTO

Desde la época prehispánica son reconocidos los beneficios de la purificación del agua sobre la salud. No obstante, el reconocimiento generalizado del problema de las aguas residuales para la salud pública y los ecosistemas, la práctica de coleccionar y depurar las aguas residuales antes de su disposición final es relativamente reciente.

Un recorrido de Enrique Valdez y Alba Vásquez³³, por las ruinas de las ciudades prehistóricas de Creta y Asiria, sugiere la utilización de sistemas de transporte de residuos líquidos y restos de alcantarillas sanitarias. Roma también desarrolló mecanismos con prototipos similares. No obstante, el gobierno romano no solía utilizarlas para el transporte de aguas residuales. Entrado el siglo XIX, la denegación para el ejercicio de esta práctica se hizo extensiva a través de los sistemas de alcantarillado de Londres, París y Boston.

De este modo, el alcantarillado fue una invención prácticamente inexplorada durante la Edad Media, y pese a que existían desagües, colectores o sumideros para la lluvia, éstos no estaban destinados al almacenamiento de aguas residuales. Una de las contingencias que explica su construcción en Europa fue “la aparición de la epidemia del cólera a mediados del siglo XIX,

³³ VALDEZ, Enrique y VÁSQUEZ Alba. Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales. México: Fundación ICA. 2003, p. 17.

principalmente en Inglaterra, obligando al parlamento a establecer una comisión Real que estudiara y construyera el sistema adecuado de alcantarillado en Londres”³⁴.

La arquitectura cloacal en París tuvo su mejor desarrollo a fines del siglo XIX, con la “construcción de la red urbana de cloacas, proyectando un sistema combinado de pequeños y grandes canales, que excedían los dos metros de altura”³⁵ para facilitar las labores de limpieza. Sin embargo, el problema iba más allá de la construcción de estructuras que llevaran a cabo el proceso de recolección y transporte de las aguas. En aquel entonces, el grueso de la población pensaba que el destino de todos los desechos y escombros, debería ser la alcantarilla, por lo que mantener las condiciones de salubridad, inspección y control del sistema resultaba una tarea difícil.

Por otra parte, debido a que no era permitida la descarga de desechos en los sistemas de alcantarillado, “los residentes depositaban sus excretas en cubetas a lo largo de las calles, para que posteriormente fueran trasladados por carretas hacia áreas rurales”³⁶.

Ahora bien, a pesar de que en 1.775 la creación del retrete, por parte del escocés Alexander Cummings³⁷, revolucionó las prácticas de disposición de los desechos, el transporte de los residuos urbanos se volvió insostenible, dado que el volumen de líquido, ahora acrecentado por el uso de inodoros, excedía la capacidad de regeneración de los terrenos agrícolas.

³⁴ *Ibíd.*, p. 18.

³⁵ Alcantarillas de Paris. [Consultado 15 de Julio de 2011] Disponible en: <<http://www.arqhys.com/construcciones/alcantarillas-paris.html>>

³⁶ Asociación de Fabricantes de Tubos de Concreto (ATCO). Introducción e historia de la tubería de concreto. p. 7. [Consultado 1 de Agosto de 2011]. Disponible en: <www.atco.org.mx/formatos/introduccionh.pdf>

³⁷ VALERY, Yolanda. El inodoro: del lujo a lo inimaginable. Febrero, 2004] [Consultado 2 de Agosto de 2011]. Disponible en: <http://news.bbc.co.uk/hi/spanish/specials/newsid_3497000/3497555.stm>

Fue así como, la construcción de alcantarillados combinados* se erigió como estrategia común en las grandes ciudades durante la segunda mitad del siglo XIX para acometer el problema de las aguas residuales. Pero este mecanismo innovador, en realidad, sólo constituyó un paliativo. Dado que los sistemas pluviales terminaban en cursos de agua, los desechos humanos eran descargados directamente en corrientes, lagos y ríos, sin previo tratamiento. Esta situación ocasionó, por lo demás, altos niveles de contaminación e inconvenientes de salud pública que se transferían de la población servida con alcantarillado a los usuarios del agua ubicados corriente abajo. Luego de que las consecuencias se extendieran a casi todas las capas de la población el tratamiento fue considerado fundamental.

De manera consecuente, se presume que “el primer sistema de alcantarillado moderno para aguas residuales fue construido hacia 1840 en Hamburgo (Alemania) por el inglés William Lindley”³⁸. El avance de este sistema consistía en que, por vez primera, las casas se conectaron al sistema de alcantarillado.

La literatura histórica hasta aquí descrita, permite señalar cómo, salvo algunos avances tecnológicos en los materiales, no existió una diferencia relevante en el diseño y la construcción de los alcantarillados, desde los primeros días del cristianismo hasta Lindley. Sin embargo, según Aparicio³⁹ (la naturaleza cambiante del agua residual), el mayor conocimiento de los principios fundamentales implicados y un mejor análisis de los efectos ambientales causados por la descarga de muchos de los residuos contenidos en el agua, han motivado la investigación de nuevos contaminantes y la manera más efectiva de eliminarlos en función de la reutilización de líquido.

De esta manera, “el número de compuestos orgánicos que se han sintetizado desde el comienzo de este siglo supera el medio millón y cerca de 10.000 se

* Debido a que recibe, conduce y dispone tanto los desperdicios domésticos como las aguas lluvia. Es una combinación entre el alcantarillado sanitario y el pluvial.

³⁸ ATCO, Op. Cit., p. 6.

³⁹ APARICIO, Carlos Julio, Empresa de Alcantarillado de Santander, Bucaramanga, Colombia, Agosto, 2011.

van añadiendo cada año a los preexistentes”⁴⁰. Como resultado de su constante uso, muchos de ellos se encuentran hoy en las aguas residuales de casi todas las ciudades. Los mecanismos de tratamiento que predominan en gran parte de éstas varían desde los métodos en lo que predomina la aplicación de principios físicos (operaciones unitarias) y los tratamientos realizados a partir de la eliminación biológica o química de contaminantes (procesos unitarios).

En el pasado, los procesos y operaciones unitarias se agrupaban para proporcionar lo que se conocía como tratamiento primario y secundario. En el primero se utilizaban operaciones de tipo físico como el desbaste y la sedimentación, para eliminar los sólidos en flotación y sedimentables que se encuentran en el agua residual. En el tratamiento secundario, por su parte, se empleaban procesos biológicos para separar la materia orgánica⁴¹.

Como consecuencia del continuo incremento en la variedad de residuos líquidos, particularmente en las aguas residuales de uso municipal, a partir del siglo XVIII, llega a conocimiento público el hecho de que el metano se producía cuando la descomposición de la materia orgánica se llevaba a cabo en condiciones anóxicas. Desde entonces, es evidente que cierto tipo de bacterias eran el agente de la descomposición mecánica de los residuos orgánicos en las aguas residuales. Así, se descubrió una nueva forma de depurar las aguas residuales domésticas a partir de “un proceso biológico en ausencia de oxígeno consistente en la estabilización de los compuestos orgánicos con producción de metano, dióxido de carbono y amoníaco”⁴².

Francia fue el primero en el tratamiento anóxico con la invención del tanque automático de descomposición de excretas de M. Louis Mouras en 1885. Este

⁴⁰ METCALF, Leonard & EDDY, Harrison. Tratamiento y depuración de aguas residuales. España: Labor S.A. 1977, p. 744.

⁴¹ *Ibíd.*, p. 7.

⁴² RODRIGUEZ, Guillermo. Primer taller nacional sobre tecnología anaeróbica para aguas residuales. Cali: Universidad Industrial de Santander. 1984. p. 1.

primer tanque, que había estado en uso alrededor de veinte años, “fue descrito por algunos como la más simple, la más bella y la mayor de las invenciones modernas”⁴³.

Pero, las desventajas derivadas de los altos costos asociados con la patente como el aspecto negro y ofensivo del efluente y el material no digerido que rellenaba en poco tiempo los campos de absorción, opacaron rápidamente las bondades de los tanques sépticos. En este marco experimental,

(...) a mediados de la primera década del siglo XX, William Travis, desarrolla un nuevo proceso de dos fases, en el cual la materia orgánica era separada en una cámara de hidrolización. Posteriormente, basado en el diseño de Travis, Karl Imhoff construye en la ciudad alemana de Emscher, el primer tanque Imhoff. En este diseño, el agua no fluye a través de la cámara de hidrolización; en su lugar, a los lodos sedimentados se les permitía un periodo de estabilización de varios meses, al final del cual estaban completamente mineralizados, siendo entonces, su descomposición segura e inofensiva⁴⁴.

A medida que el conocimiento en los campos de la química y la microbiología se desarrollaba, se labraba un nuevo terreno en el tratamiento de desechos líquidos. Lo que era evidente luego de la implementación de sistemas de tratamiento anaeróbico era que “los bajos tiempos de retención y altas eficiencias en la remoción de la carga orgánica de estos sistemas (expresadas como DBO y DQO) los hacían muy competitivos”⁴⁵.

En el siglo XIX y principios del XX se probaron varios procesos de tratamiento; pero no fue sino hasta mediados del siglo XX, que el diseño de Plantas de tratamiento de aguas residuales se hizo empíricamente.

⁴³ *Ibíd.*, p 3.

⁴⁴ *Ibíd.*, p. 4.

⁴⁵ *Ibíd.*, p. 1.

Ahora bien, no obstante los avances en el tratamiento anaeróbico, en la actualidad aún persisten dificultades en su implementación. Según Rodríguez⁴⁶, existen algunas características, propias de este sistema, que lo hacen particularmente inviable. En primer lugar, los microorganismos anaerobios poseen una tasa de crecimiento muy baja; por lo que al iniciar el proceso de arranque del reactor se requiere de un periodo de tiempo que dependerá de la calidad y cantidad de bacterias introducidas. En los casos en que no se cuenta con el número de bacterias adecuado, esta etapa se puede prolongar, incluso hasta condiciones críticas en las que nunca alcanza la estabilidad.

En segundo lugar, aunque la digestión anaerobia es un proceso eficiente para la remoción de materia orgánica, tiene limitado efecto sobre la concentración de nutrientes y agentes patógenos. La factibilidad de post-tratamientos para remover la concentración de dichos componentes está en función de la disposición última del efluente y la normatividad local sobre la cuantía y calidad de los vertimientos*.

La generación de olores, asociada a la formación de compuestos azufrados como el H₂S en el biogás, es otro de los inconvenientes asociados a esta tecnología. Estos compuestos emiten un olor perceptible y ofensivo, convirtiéndose en la causa fundamental de la exigencia de un efectivo sistema de recolección, tratamiento y disposición del biogás y otros gases.

⁴⁶ RODRÍGUEZ, Jenny Alexandra. Tratamiento anaerobio de aguas residuales. Cali: Universidad el Valle, p. 14.

* Éstos comprenden procesos biológicos como lodos activados, lagunas de oxidación, Plantas acuáticas, etc.

3.2 COMPOSICIÓN GENÉRICA Y USOS ALTERNATIVOS

Durante la Declaración Ministerial de la Segunda Conferencia Mundial del Cambio Climático⁴⁷ en 1992, el desequilibrio ecológico fue considerado un axioma de la actualidad, debido fundamentalmente, a los efectos de la alteración de los ciclos bioclimáticos del planeta.

La magnitud del daño, gran parte de él irreversible, hace necesaria la toma inmediata de medidas encaminadas a mitigar o contrarrestar los impactos que a partir de la contaminación sobrevienen. El tratamiento de los desechos líquidos, constituye sólo un primer paso para compensar este desequilibrio. Se necesita, además, un desarrollo territorial que considere la capacidad de carga y de auto-recuperación del entorno en su conjunto. No obstante, la preservación del agua, a través de mecanismos adecuados para su rehabilitación, puede coadyuvar sobremanera, al uso sostenible del recurso en el largo y mediano plazo, incrementando los parámetros de calidad de la misma y disminuyendo los efectos colaterales derivadas de la contaminación hídrica.

Lo anterior, es posible en el marco de una estrategia de evaluación periódica, como práctica de protección, e instrumentos políticos, financieros y de colectividad contruidos a partir de un “planteamiento basado en la participación de los usuarios, los planificadores y los responsables de las decisiones a todos los niveles”⁴⁸.

Complementario a los aspectos mencionados, un elemento fundamental para lograr una mayor eficiencia en la gestión del recurso es el conocimiento del tipo de agua a tratar para identificar la tecnología u operaciones que posibiliten su descontaminación. Teniendo en cuenta los parámetros químicos y físicos para

⁴⁷ CONVENCIÓN MARCO DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO. Artículo 1. Anexos I y II, Nueva York. 1992.

⁴⁸ ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA EDUCACIÓN, LA CIENCIA Y LA CULTURA. Programa Mundial de evaluación de los Recursos Hídricos para el desarrollo, el fortalecimiento de capacidades y el medioambiente. [en línea]. [consultado 9 Noviembre 2010]. Disponible en: «http://www.unesco.org/water/wwap/milestones/index_es.shtml».

determinar el sistema ambientalmente eficiente de tratamiento y sus alcances, se identifican principalmente cuatro tipos de agua residual: doméstica, industrial, agrícola y pluvial*.

De otra parte, con base en la clasificación antepuesta, en el Capítulo IV del Decreto 3930 de 2010, es posible identificar algunos componentes fisicoquímicos típicos del agua residual.

Tabla 2. Componentes fisicoquímicos generales del agua residual

COLOR	CONSTITUYENTES INORGÁNICOS NO METÁLICOS		
Sólidos sedimentables	Boro	Cianuro	Amoniaco
Turbiedad	Nitrato	Oxígeno	Fósforo
Sólidos en suspensión	Flúor	Cloro residual	Sulfuro
Salinidad	Cloruro	pH	Sulfato
		Carbono orgánico total	
CONSTITUYENTES ORGÁNICOS METALES			
Demanda química de oxígeno	Aluminio	Cadmio	Níquel
Tensoactivos	Berilio	Cromo	Selenio
Fenoles	Litio	Hierro	Manganeso
Demanda bioquímica de oxígeno	Molibdeno	Vanadio	Bario
Grasas, aceites	Arsénico	Mercurio	Plomo
	Plata	Cobalto	
CONSTITUYENTES BIOLÓGICOS			
Grupos coliformes totales y fecales			

Fuente: Decreto 3930 de 2010, Capítulo IV.

* Ramalho las define así: a) *Doméstica*: Aquella utilizada con fines higiénicos. Procede, a menudo, de descargas de instalaciones hidráulicas o de residuos originados en establecimientos públicos, comerciales u otros. Ya que consisten principalmente en residuos humanos transportados a través de las redes de alcantarillado, es común su denominación como aguas residuales municipales. b) *Industriales*: Procede de los residuos líquidos generados a través de procesos industriales. Tanto el caudal como la composición de sus vertidos varían de una industria a otra, también lo hace el periodo y la perduración de vertimiento. Por lo que, son las características o actividad productiva de la industria en cuestión la que determinará el tipo de tratamiento para la depuración de sus desechos líquidos. c) *Agrícola*: Derivada de las escorrentías agrícolas, proveniente del uso de desechos animales, fangos, plaguicidas y otros residuos distribuidos sobre el suelo de uso agrario y, d) *Pluvial*: En general, se trata de agua de lluvia, o su remanente cuando se ha saturado la capacidad de absorción del suelo. Este tipo de agua es drenada arrastrando con ella arena y otros residuos que puedan estar sobre la superficie. Los canales y colectores de aguas de lluvias son los medios de descarga más comunes de este tipo de agua residual. Ver: RAMALHO, Rubens. Tratamiento de aguas residuales. España: Reverté. 2003, p. 8-26.

De lo anterior se deduce que, es de vital importancia una evaluación práctica sobre cuáles son los métodos de tratamiento, potencialmente ventajosos y económicamente asequibles dentro de los rubros del presupuesto de que dispone la municipalidad.

Llegados a este punto, cabe recordar que el propósito último del tratamiento de aguas residuales nunca ha sido el de generar un producto estéril (sin especies microbianas) sino reducir el nivel de organismos patógenos perjudiciales a concentraciones mínimas que hagan posible su segura exposición*. En este sentido, el reúso de aguas residuales se convierte en una opción válida tanto para el medio natural, ya que incrementa su capacidad de asimilar, de manera más efectiva, los residuos moderadamente tratados, como para el aumento de oferta hídrica, gracias a que el agua potable, antes usada en actividades secundarias como riego, recreación, limpieza doméstica, etc., puede ser orientada a usos primarios como lavado de alimentos, aseo personal y consumo.

Así pues, aunque exista la tecnología para obtener un producto de agua potable de los efluentes de aguas residuales tratadas, dichos efluentes podrían ser eventualmente usados como aguas de enfriamiento en aplicaciones industriales, para el riego en campos de golf o parques públicos, reutilizadas para la provisión de agua en zonas de recreo destinadas sólo para contacto corporal parcial (como lo es el caso de los estanques designados a la práctica de deportes náuticos o a la conservación de la vida animal propia de los estanques), también para uso doméstico no potable, como el inodoro. Pero si de lo que se trata es de recargar los acuíferos, la reutilización del agua residual puede ser considerada como una de las técnicas de abastecimiento más eficaces, en tanto que el vertiginoso desarrollo de la industria y el incremento de la población han provocado una disminución del agua potable subterránea, dando como resultado la presencia de agua salada en acuíferos de agua dulce.

* De acuerdo a la pureza del líquido de que depende cada uso consignado en el Capítulo IV del Decreto 3930 de 2010.

Desde la perspectiva de Metcalf y Eddy⁴⁹ en variadas ocasiones para recargar los acuíferos y detener esta intrusión se han utilizado efluentes tratados donde el suelo actúa como filtro natural, eliminando los contaminantes.

Asimismo, ya que el lodo es un producto derivado del tratamiento convencional de aguas residuales, de tipo biológico, su descarga es igualmente trascendental en el proceso de descarte. Siendo de esta manera, tratado y utilizado, el lodo puede ser útil para una variedad de propósitos entre ellos la producción de calor y energía a partir de la captación de gas metano, presente en el proceso de digestión anaeróbica. Igualmente, puede ser utilizado como insumo para la producción de fertilizantes y a su vez manipulado en cultivos agrícolas y terrenos forestales, añadiendo sustancias nutritivas a suelos erosionados.

Tabla 3. Usos alternativos del recurso del agua

	Usos
Municipio	Limpieza de Vías y andenes Riego de parques y jardines Refrigeración Fuentes decorativas Sistemas contra incendios Agua potable
Agricultura	Riego
Ganadería	Consumo Refrigeración
Paisaje y medio natural	Recuperación de marismas Riego Aguas libres Recuperación de zonas baldías
Acuicultura	Crecimiento de peces Crecimiento de algas
Caudal ecológico	Ríos y lagos Mantenimiento de marismas
Minería	Arrastres Limpieza
Recargas de aguas subterráneas	Recarga/Almacenamiento

Fuente: Adaptado de Llagostera, R. (2000)

⁴⁹ METCALF y EDDY. Óp. Cit. p. 744.

3.3 GESTIÓN Y SANEAMIENTO

3.3.1 América Latina.

El desarrollo de tecnologías sustentables para el tratamiento de residuos líquidos, es un objetivo condicionante para superar el previsible desabastecimiento de agua que ha tocado previamente a otras naciones del mundo.

En la actualidad resulta difícil generalizar acerca de cualquier condición en Latinoamérica, debido a su diversidad económica, social y ambiental. Estas diferencias son evidentes tanto entre países como dentro de una misma nación. Sin embargo, es posible generalizar el hecho de que la calidad del agua de las fuentes superficiales en la región se encuentra caracterizada por una creciente degradación, implicando daños ambientales irreversibles a la biósfera, además de riesgos a la salud pública debido a la transmisión potencial de enfermedades infecciosas relacionadas con el agua.

En América Latina y el Caribe, con una población a 2005 de aproximadamente 500 millones de personas, el saneamiento básico es un problema apremiante, pues “37 millones de habitantes urbanos y 66 millones de habitantes rurales carecen de estos servicios básicos. Solamente el 13,7% de las aguas residuales procedentes de 241 millones de habitantes, cuyas viviendas están conectadas a redes de alcantarillado, recibe algún tratamiento”⁵⁰, lo que significa que las aguas servidas procedentes de cerca de 208 millones de habitantes son descargadas a los cuerpos receptores sin tratamiento alguno.

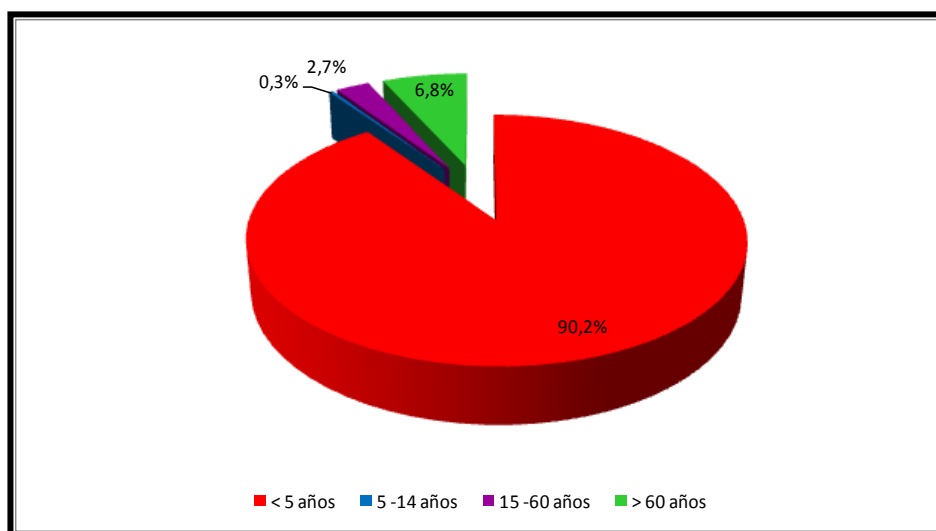
El conocimiento científico sugiere que las aguas residuales albergan microorganismos que causan enfermedades (patógenos), incluyendo virus, protozoos y bacterias. Estos organismos patogénicos pueden “originarse tanto

⁵⁰ FERNÁNDEZ, Alicia y DU MORTIER, Cecile. Evaluación de la condición del agua para consumo humano en Latinoamérica. Centro de Estudios Transdisciplinarios del Agua, Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad de Buenos Aires, 2005, p. 3.

en individuos infectados como en animales domésticos o salvajes, de los cuales pueden o no presentar señales de enfermedad”⁵¹.

Según Kelly A. Reynolds la diarrea y la gastroenteritis se encuentran entre las tres principales causas de muerte en el mundo y en la región latinoamericana. El agua no segura para beber y la contaminación a través del desecho inadecuado de aguas negras son responsables por la gran mayoría de estas muertes. Las cifras de la Organización Mundial de la Salud no distan de las previamente presentadas al afirmar que “sólo en Brasil 20 niños mueren cada día debido a la falta de sistemas de aguas negras”⁵². Lo anterior constituye un problema que se encuentra directamente relacionado con la presencia de enfermedades infecciosas como el cólera, la hepatitis, la gastroenteritis, la disentería etc.

Gráfico 1. Porcentaje de muertes atribuidas a diarreas infecciosas por grupos de edad en América Latina



Fuente: PARDÓN, Mauricio. 2005.

⁵¹ REYNOLDS, Kelly. Tratamiento de Aguas Residuales en Latinoamérica: Identificación del Problema. 2002, p. 1

⁵² *Ibíd.*, p. 3.

Las cifras alrededor de las muertes generadas por diarreas infecciosas es alarmante, especialmente si se tiene en cuenta el compromiso adquirido a través de planteamiento de los Objetivos de Desarrollo de Milenio, iniciativa de carácter global que entre sus metas pretende “reducir la mortalidad en niños menores de 5 años y aumentar el saneamiento básico de 87% en el 2000 a 93% en 2015 en áreas urbanas y del 49% al 74% en áreas rurales”⁵³.

Una gran inquietud, que surge a partir de este planteamiento, es el grado de afectación de los habitantes con menores ingresos que por su condición de pobreza viven en superficies que no son adecuadas para el desarrollo tales como pantanos, laderas de ríos, cerros y zonas propensas a inundaciones, ya que son estas personas, de escasos recursos, las que son más susceptibles a las enfermedades y las que están potencialmente menos conscientes de los mecanismos para mantener las condiciones de salubridad, lo cual conlleva a mayores tasas de propagación de enfermedades en la población general.

A lo anterior se suma que muchos de ellos, dado que se concentran en áreas periurbanas, más específicamente en los cinturones de pobreza existentes en la periferia de varias ciudades de la región, ha resultado muy difícil, para el sector oficial, dotar a estas zonas apartadas, de servicios con una calidad admisible. Los problemas principales que afronta la expansión de los servicios a la población marginada se relacionan, de una parte, con los altos niveles de pobreza y la escasa cultura de pago, y de otra, con los altos costos de construcción y operación debido a que estos sectores, con frecuencia, han mantenido un crecimiento exponencial y se han desarrollado en zonas con condiciones topográficas más complicadas expandiéndose en forma desordenada, lejos de las redes preexistentes.

Entre las principales causas que agravan esta situación en la región se encuentran: el despilfarro de agua potable, la flexibilidad legal; el déficit de

⁵³ Informe sobre la Evaluación Mundial del Abastecimiento de Agua y el Saneamiento en 2000. World Health Organization (WHO) and United Nations Children’s Fund (UNICEF). Ginebra. 2000, p. 63.

servicios básicos de abastecimiento y saneamiento, la contaminación de los cuerpos de agua superficiales, tanto por la descarga de efluentes urbanos como industriales y la gestión inadecuada de las cuencas hidrográficas.

En 1995, el Banco Mundial⁵⁴ estimó que era necesaria una inversión de US\$12.000 millones anuales durante los próximos 10 años para elevar los estándares de abastecimiento de agua y de aguas residuales a niveles razonables. Aproximadamente US\$7.000 millones serían para aguas residuales, con US\$4.400 millones para la recolección de aguas de alcantarillado, US\$1.200 millones para tratamiento, US\$1.200 millones para rehabilitación de las instalaciones existentes y el resto para el saneamiento rural. Dichas estimaciones de costos se basaron en una meta de tratamiento de aguas residuales para el 60% de la población que cuenta con sistema de alcantarillado.

Diez años más tarde, las tecnologías implementadas para el tratamiento de aguas residuales incluyeron lodos activados (233 Plantas), lagunas de estabilización (581 Plantas), tratamiento primario (371 Plantas), lagunas aireadas (40 Plantas) y 26 Plantas con otras tecnologías que suman un total de 1.251 PTAR's disponibles en la región. Pero, en oposición a la condición mencionada, según el informe de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe⁵⁵ (CEPAL), para lograr la meta de proveer de servicios de saneamiento a casi 140 millones de personas en América Latina para 2015, aún son necesarias inversiones de US\$1,5 mil millones anuales. El 95% de la inversión sería destinada a proveer con los servicios de saneamiento mejorado a la población urbana, y el 5% restante a la población rural. El logro de esta cobertura es importante debido a que el acceso adecuado a los servicios eficientes y seguros de agua potable y saneamiento reduce, de manera

⁵⁴ Idelovitch, E., & K. Ringskog, *Directions in Development: Wastewater Treatment in Latin America, Old and New Options*. World Bank, Washington, D.C., August 1997. Citado por: REYNOLDS, Kelly. *Tratamiento de Aguas Residuales en Latinoamérica: Identificación del Problema*. 2002, p. 1.

⁵⁵ JOURAVLEV, Andrei. *Los servicios de agua potable y saneamiento en el umbral del siglo XXI*. Santiago de Chile, 2004, p. 14.

considerable, tanto la morbilidad como la mortalidad por enfermedades transmitidas por el agua.

No obstante en la región, actualmente la mayor parte de las aguas negras continúa sin recibir tratamiento. A este respecto, la Ciudad de México y São Paulo se destacan por ser las ciudades más contaminadas y carecer de infraestructura de saneamiento adecuada para tratar los residuos líquidos.

3.3.2 Colombia.

Uno de los temas más controversiales hoy, es el relacionado con la política del agua potable y el saneamiento básico. Incluso, se plantea que en el mediano plazo, el dominio de las fuentes de agua será el centro de los próximos conflictos mundiales.

En Colombia los recursos hídricos son importantes debido a su considerable abundancia y posición geográfica. El agua, mediadora por excelencia entre la el hombre y la naturaleza, es también el puente entre el desarrollo sostenible del país urbano y el país rural. “Nuestro país, con dos mares, más de 1.600 ríos y poseedora de la imponente cuenca hidrográfica del Amazonas, se convierte en un país privilegiado”⁵⁶; puesto que el agua y, concomitante con su manejo, el saneamiento básico y ambiental, son sin lugar a dudas, factores estratégicos en el desarrollo económico y el bienestar social.

De acuerdo con los diagnósticos realizados por la Procuraduría General de la Nación y el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia⁵⁷ a los planes de desarrollo departamentales, se encontró que aproximadamente el 68% de los municipios que informan cumplen con la cobertura mínima exigida por el

⁵⁶ CAICEDO, Diego. Acueducto, alcantarillado y aseo (1998-2001). En: SuperCifras en m³. Julio, 2002. no. 6, p. 1-144.

⁵⁷ UNICEF. La infancia, el agua y el saneamiento básico en los planes de desarrollo departamental. 2004-2007. Colombia, p.105.

Reglamento del Sector del Agua Potable y Saneamiento Básico –RAS 2000- para el servicio de alcantarillado. Por otra parte, uno de cada tres diagnósticos analizados incluye información sobre la Planta de tratamiento de aguas residuales, y sólo el 23% de los que informan, cuenta con estructuras para dicho fin. Del mismo modo, los resultados de la evaluación, colocan en evidencia que de los 539 municipios que informan sobre el vertimiento de aguas residuales la mayoría (59%) realiza las descargas en ríos cercanos. El 45% de los municipios que informan hace la descarga de las aguas residuales en quebradas y el 24% en ciénagas y otros lugares como calles. Además, resulta lamentable evidenciar que apenas el 16% de los planes de desarrollo analizados describan el estado de sus redes de alcantarillado. De éstos, solamente el 13% reporta que cuenta con redes en buen estado, el 61% cuenta con redes en mal estado y los municipios restantes señalan que sus redes se encuentran construidas con materiales obsoletos.

Es necesario resaltar que los entes territoriales deben evaluar la necesidad de contar con una Planta de tratamiento de aguas residuales teniendo en cuenta los parámetros establecidos en el documento CONPES 3177 de 2002, que establece que “no todos los municipios del país deberían tener este tipo de Plantas, ya que existen prioridades como la cobertura de los servicios de acueducto y alcantarillado y la calidad del agua”⁵⁸.

Un estudio llevado a cabo por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM⁵⁹, sobre el funcionamiento de las Plantas de tratamiento de aguas residuales en Colombia, demostró que de 237 construidas en el país, en 235 municipios, sólo 28 de ellas operan adecuadamente, agregando que en promedio estas Plantas tratan únicamente el 8% de los vertimientos producidos por estos municipios. Este planteamiento sugiere dos hechos relevantes: en primer lugar, en el país tan sólo el 12% de la infraestructura diseñada para la depuración de aguas negras funciona en correspondencia con las normas legales de operación y mantenimiento y, en

⁵⁸ *Ibíd.*, p. 105.

⁵⁹ Documento CONPES 3177 de 2002, p. 8.

segundo lugar, la baja proporción de agua tratada a nivel nacional, no contribuye a la recuperación del agua y el paisaje hidrográfico.

Para superar esta situación a mediano, el país debe construir unas 900 Plantas para tratar las aguas de los alcantarillados. Así, “dependiendo del tipo de construcción y de la cobertura de alcantarillado, se necesitarían entre US\$180 y US\$280 por habitante, es decir, alrededor de \$440 mil por persona para darle solución integral a un municipio, tanto en alcantarillado como en tratamiento de aguas”⁶⁰. Sin embargo, Romero⁶¹ aclara que es importante que el país tenga presente que hay, de por medio, prioridades aún por encarar en el frente de los servicios públicos. En este sentido, el tema de cobertura de acueducto es el más apremiante, el alcantarillado se ubica en segundo lugar, y finalmente está el tema del tratamiento de las aguas residuales.

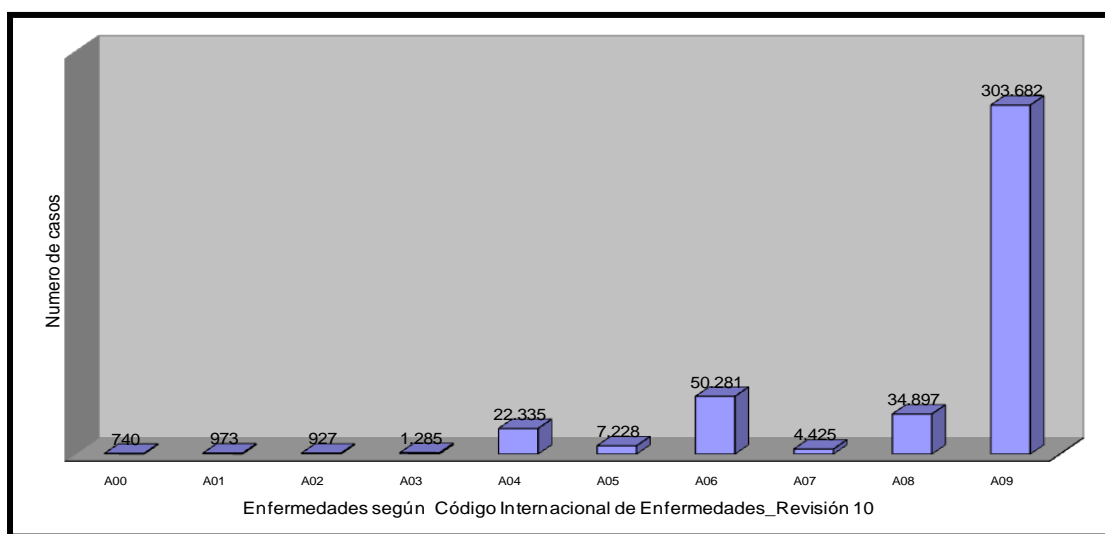
Esta última proposición es rebatible si se considera, por ejemplo, los problemas colaterales, derivado del exiguo o nulo tratamiento de las aguas residuales y los vertimientos puntuales a los cuerpos receptores. Al hacer un análisis de la calidad del agua, el Ministerio de la Protección Social⁶² advirtió que las altas tasas de incidencia de diarrea y gastroenteritis de presunto origen infeccioso, amibiasis, infecciones intestinales debidas a virus entre otras infecciones intestinales bacterianas atendidas por consulta externa en el transcurso del 2006 en los departamentos de Cesar, Bolívar y Valle concuerdan perfectamente con el panorama descrito por el IDEAM.

⁶⁰ COLOMBIA SÓLO trata 9% de sus aguas residuales. En: Vanguardia Liberal. Bucaramanga. Septiembre 22 de 2011.

⁶¹ Ibíd.

⁶² ÁLVAREZ, Gilberto. Calidad de agua. Dirección de Salud Pública. Ministerio de la Protección Social. Bogotá. 2008, p. 8.

Gráfico 2. Total casos atendidos en Cesar, Bolívar y Valle por consulta externa durante el 2006



Fuente: ÁLVAREZ, Gilberto Ministerio de la Protección social.

Por su parte, la viceministra de Agua y Saneamiento Básico, Leyla Rojas, considera que el número de Plantas no es importante, si se tiene en cuenta que podrían construirse sistemas que cubran dos o más localidades. En palabras de Rojas, “las estadísticas nos indican que tenemos un montaje con capacidad para tratar el 32% de las aguas residuales, pero la realidad es que tratamos entre un 8% y un 10%, lo que refleja que falta un óptimo mantenimiento y buen uso de la infraestructura que poseemos”⁶³. Igualmente, la funcionaria pública subrayó que los últimos análisis del Banco Mundial indicaban que la inversión por habitante que debía hacerse sería de US\$150 (aproximadamente 310 mil pesos), y que para tal fin, el Ejecutivo contaría con recursos por \$1,2 billones extraídos de un presupuesto de \$8,2 billones destinados hasta el 2010 para las necesidades en acueducto, alcantarillado y aseo.

Ahora bien, resulta paradójico aceptar que con la magnitud de los recursos hídricos que posee el país y a pesar de los reconocidos avances en algunas

⁶³ COLOMBIA SÓLO trata 9% de sus aguas residuales, Op. Cit.

ciudades del país, Colombia se encuentre ante un déficit recurrente en la gestión del agua y el saneamiento básico.

Quizás la errada concepción de lo público, al considerar al Estado como único veedor, ha permitido una menor involucración por parte de la colectividad en la protección del patrimonio hidrográfico y la biodiversidad. Bien lo expresa nuestro nobel, García Márquez, cuando afirma que:

[...] tal vez estemos pervertidos por un sistema que nos incita a vivir como ricos mientras el cuarenta por ciento de la población malvive en la miseria, y nos ha fomentado una noción instantánea y resbaladiza de la felicidad: queremos siempre un poco más de lo que ya tenemos, más y más de lo que parecía imposible, mucho más de lo que cabe dentro de la ley, y lo conseguimos como sea; aun contra la ley. Conscientes de que ningún gobierno será capaz de complacer esta ansiedad, hemos terminado por ser incrédulos, abstencionistas e ingobernables, y de un individualismo solitario por el que cada uno de nosotros piensa que sólo depende de sí mismo. Razones de sobra para seguir preguntándonos quiénes somos, y cuál es la cara con que queremos ser reconocidos en el tercer milenio⁶⁴.

⁶⁴ NOGUEIRA, Ángel. Colombia: reflexiones desde la otra orilla. Bogotá: Siglo del hombre. 2003, p. 132.

4. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES RÍO FRÍO

Hoy en día, el desarrollo es una preocupación mundial que trasciende las ideologías y los intereses inmediatos. Es ahora un reto tanto moral como político que demuestra que la estabilidad y la prosperidad son indivisibles.

Kofi Annan

4.1 ORÍGENES Y EVOLUCIÓN

A mediados del siglo XX, empieza a manifestarse en Bucaramanga un serio problema para sus habitantes, la erosión. Según la firma extranjera R.J Tipton y Asociados⁶⁵, contratada en 1953 por el Gobierno Nacional para indagar las causas de este fenómeno, el origen del problema estribaba en las propiedades insuficientes y antitécnicas del alcantarillado existente. Era insuficiente, debido a que su diseño contemplaba una población máxima de 65.000 habitantes y éstos ya excedían los 100.000, y antitécnico, porque “contaba con centenares de bocas que vertían las aguas residuales en los taludes y cañadas de la ciudad”⁶⁶.

Ante esta realidad, de que la erosión no tendría solución definitiva y que tan sólo podrían elaborarse procesos de control, el 2 de Octubre de 1965, nace la Corporación de Defensa de la Meseta de Bucaramanga, con el propósito esencial de ejecutar un plan de acción encaminado a controlar dicho fenómeno. Para conformar un programa de defensa contra la erosión, la CDMB contrató en 1968 con “la firma Hidro estudios Ltda., la elaboración de un estudio de factibilidad del control de la erosión en la Meseta de Bucaramanga”⁶⁷. Durante el estudio se realizaron levantamientos y exploraciones geológicas,

⁶⁵ EMPAS. Reseña histórica de EMPAS S.A. [en línea]. [Consultado 18 Oct. 2010]. Disponible en: <<http://www.empas.gov.co>>

⁶⁶ *Ibíd.*

⁶⁷ CDMB. Historia. En: Institucional. [en línea]. [Consultado 3 Nov. 2010]. Disponible en: <<http://www.cdmb.gov.co/web/index.php/institucional-supmenu-273.html>>.

hidrológicas y de cartografía, estudios sobre el alcantarillado existente y de las estructuras de vertimiento, análisis de las hoyas hidrográficas, usos de la tierra, asentamientos humanos y finalmente investigaciones socioeconómicas, ecológicas, y proyecciones demográficas.

Posteriormente, en favor de una modernización y mejor distribución del servicio se llevaron a cabo los siguientes procedimientos:

- 1976: Operación del Sistema de Alcantarillado de Bucaramanga, Floridablanca y Girón.
- 1981-1983: Estudio de viabilidad del Plan Integral de Saneamiento Ambiental (PISAB)
- 1983-1996: Primera fase de ejecución de obras PISAB. (35 Km REDES PTAR RF-2 UASB)
- 1996-2006: Segunda fase de ejecución de obras PISAB. (35 Km REDES PTAR RF-4 UASB).

Sólo hasta el 22 de Septiembre de 2004, mediante providencia ACU-2781⁶⁸ se determinó que la CDMB, no tenía la competencia para seguir prestando el servicio público de alcantarillado de los municipios de Bucaramanga, Floridablanca y Girón, para lo cual se constituyó la Empresa Pública de Alcantarillado de Santander (EMPAS) en octubre de 2006.

Como ente encargado de trabajar para detener los procesos erosivos de la ciudad, inicialmente la EMPAS tomó como guía el Plan General de Control de Erosión o PGCE elaborado en 1968, en el que una de sus líneas estratégicas denominada *Plan Maestro de Alcantarillado Sanitario*⁶⁹ apuntó hacia la

⁶⁸ CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA. Acuerdo de Consejo Directivo No 1059 (Agosto 24 de 2006). Por la cual se aprueba La Operación de cumplimiento de la Providencia ACU-2781 de Septiembre 22 de 2004. [en línea]. Bucaramanga. p.1. Disponible en: <<http://www.cdmb.gov.co/gdi/acuerdos/a6a0c8cead294c593bd3.pdf>>.

⁶⁹ EMPAS. Plan Estratégico de Gestión de EMPAS S.A. 2011 – 2015. [en línea]. p. 29. [Consultado 2 Mar. 2011]. Disponible en: <empas.gov.co/component/.../135-plan-estrategico-2011-2015.html>.

optimización del sistema de alcantarillado existente, evaluando la alternativa de un sistema de tipo combinado con énfasis en captación y control de aguas lluvias hasta su entrega a las estructuras de vertimiento de la escarpa, sectorizando los drenajes en los sitios puntuales de cada vertimiento como sistemas independientes.

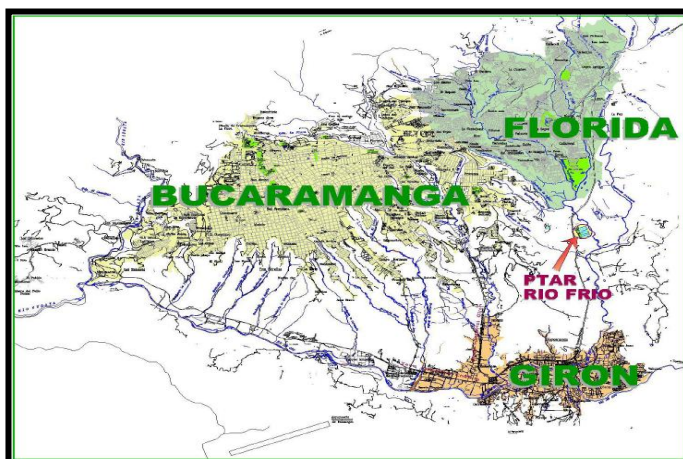
Actualmente, el sistema sanitario de la zona Sur se halla conformado por los interceptores Zapamanga, Aranzoque Parte Baja y Río Frío, este último receptor de los dos primeros y con aferencia final a la Planta de Tratamiento de aguas residuales PTAR Río Frío (Ver Figura 3), la cual cuenta con un sistema de tratamiento de tipo convencional, con tecnología anaeróbica y en proceso de modernización y ampliación a un sistema anaeróbico (reactor UASB) y aeróbico (Lodos Activados)⁷⁰.

Dado que recibe los aportes sanitarios del conjunto de “la población urbana de Floridablanca (en promedio 250.000 habitantes) y un 11% de Bucaramanga”⁷¹, este sistema requiere de la operación y seguimiento constante de cada una de sus fases de tratamiento, a través de mediciones de laboratorio –para garantizar su control y graduación- y de obras de reparación para el correcto funcionamiento de los procesos especialmente respecto al vertimiento del afluente al Río Frío, dentro de los parámetros ambientales permitidos.

⁷⁰ CDMB. Acuerdo de Consejo Directivo No 1059 (Agosto 24 de 2006). Óp. Cit. p.3

⁷¹ CDMB. Monitoreo Calidad del Agua Primer Semestre del 2010: informe semestral. Subdirección de Ordenamiento Integral del Territorio. Coordinación de Información e Investigación Ambiental, 2010. p. 20.

Figura 3. Localización Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Río Frío



Fuente: EMPAS

Diseñada en 1984 bajo el marco de un convenio de cooperación técnica con el gobierno de Holanda y puesta en marcha hacia principios de 1991, la PTAR Río Frío cuenta con aproximadamente 24 hectáreas y constituye un conjunto de procesos sencillos ya que, gracias a las condiciones topográficas de la zona, realiza gran parte de su funcionamiento hidráulicamente, esto es, por medio de la gravedad. Desde el punto de vista de la obra civil los 4 tanques UASB, cada uno de 3.360 m^3 y 4 m de profundidad útil, se construyeron en concreto prefabricado como reforzado. Los pozos de repartición “se fabricaron en fibra de vidrio y su sistema de alimentación fue construido principalmente a través de mangueras de polietileno y conductos de PVC mientras que los vertederos de recolección del afluente y las aberturas de las campanas de gas se elaboraron en acrílico”⁷².

Con este diseño, la PTAR Río Frío es considerada una de las obras de ingeniería más sobresalientes creadas dentro del marco del plan integral de saneamiento ambiental de Bucaramanga (PISAB). Al respecto, el ingeniero Philippe Conil esboza que:

⁷² CDMB. Historia. Óp. Cit.

La Planta UASB de Río Frío, a pesar de algunos errores de diseño (en particular en cuanto al manejo de olores) se volvió la Planta UASB para aguas residuales domésticas más grande del mundo en 1995, y la prueba de la trascendencia de esta tecnología para las ciudades del Trópico (la CDMB en 1990 anunciaba un costo de inversión de 14 US\$ por habitante y un costo de operación de US\$ 1 por habitante-año)⁷³.

Finalmente, a través del respaldo del Banco Mundial y para efectos de reducción de gases de efecto invernadero, la PTAR inició a partir del 2002 el Proyecto MDL (Mecanismo de Desarrollo Limpio) el cual tratará de abatir cerca de 30 kton CO₂eq/año⁷⁴, representadas en CH₄ (biogás) y N₂O (óxido nitroso) que contribuirían a mejorar “la calidad del efluente final de la Planta favoreciendo tanto el mejoramiento del cuerpo de agua como la incorporación al desarrollo urbano de 147 Has, afectadas por condición de olores”⁷⁵. Cabe destacar que, para el año 2007 la PTAR Río Frío contaba con una capacidad instalada de 0,64 metros cúbicos por segundo, dos veces superior a la inicial; mientras que con “el proyecto MDL contará con una capacidad instalada de 2 m³ por segundo”⁷⁶.

4.2 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Según el Plan Integral de Saneamiento Hídrico y Control Pluvial⁷⁷ la PTAR Río Frío tiene como objeto principal tratar las aguas residuales domésticas

⁷³ CONIL, Philippe. Tratamiento anaerobio de las aguas residuales en Colombia. Histórico, posibilidades, limitaciones, situación actual y perspectivas. [en línea]. Mayo, 1996. p.7. [Consultado 2 Jun. 2011]. Disponible en: <www.bio-tec.net/archivos/publicaciones/cb1-c77.doc> ISSN CB1-C77.

⁷⁴ MENESES, Alexander y HERNÁNDEZ, Eudes. Identificación de emisiones directas e indirectas de GEI en el sector tratamiento y disposición de aguas residuales: bases para la formulación de proyectos MDL en PTAR. En: Bistua, 2004. vol. 2. no. 001. p. 60-69.

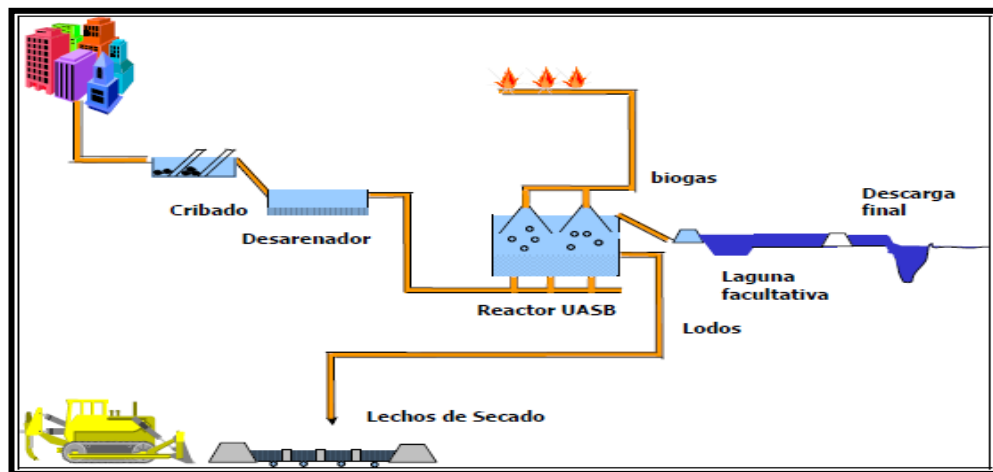
⁷⁵ URIBE, Ludwing. Ampliación y modernización Planta de tratamiento de aguas residuales río Frío Girón – Santander. Medellín: 2009, p. 28.

⁷⁶ *Ibíd.*, p. 29.

⁷⁷ PLAN INTEGRAL de Saneamiento Hídrico y Control Pluvial. En: SÁNCHEZ MÉNDEZ, Genny. Análisis tecnológico de un sistema para el manejo integrado de los lodos generados en los bio-reactores UASB en la Planta de tratamiento de Aguas Residuales Río Frío. Colombia: Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2005, p. 149.

generadas por la población de la zona sur del área metropolitana de Bucaramanga, representada por aproximadamente 320.000 habitantes. Debido a que la mayor carga de contaminación doméstica obedece a materia orgánica, se ha adoptado un esquema de tratamiento en tres fases constituido por una fase preliminar, una fase primaria y una fase secundaria, que permite principalmente la remoción de la carga orgánica en términos de Demanda Biológica de Oxígeno (DBO).

Figura 4. Esquema de tratamiento PTAR Río Frío



Fuente: SÁNCHEZ, Genny

El proceso de purificación inicia cuando el agua residual doméstica es conducida a la Planta por medio del colector maestro Río Frío, alcantarillado de tipo separado de aproximadamente 28 Km de longitud que termina en una tubería de 1.30 metros de diámetro en la entrega. Posteriormente, ingresa a la caseta de medición en la cual se monitorean constantemente los picos de caudal del agua residual que ingresan a la Planta para ser tratada; generalmente, “suelen encontrarse picos altos alrededor de las 10 AM y 12 PM e inferiores entre el periodo de tiempo comprendido entre las 2 AM a 4 AM”⁷⁸.

⁷⁸ SAAVEDRA Diana, Empresa de Alcantarillado de Santander, Bucaramanga, Colombia, Observación inédita, Agosto de 2011.

En los casos en que el caudal de vertimiento supera la capacidad instalada, el exceso de agua residual es vertido directamente al río Frío.

4.2.1. Tratamiento preliminar.

Consta de dispositivos pre-tratamiento (cribado grueso, cribado fino y desarenador) cuyo fin es la eliminación de los elementos sólidos y partículas que pueden deteriorar los equipos implementados en las etapas de tratamiento posteriores. El sistema de cribado es una tecnología brasilera que consta de una rejilla gruesa y fina de aproximadamente 5 cm y 3mm de diámetro respectivamente, cuyo movimiento es automático y que tiene por objeto compactar los sólidos (residuos domésticos) en un cárcamo o tornillo sin fin para ser empacado y enviado al relleno sanitario; se estima que alrededor de cuarenta bolsas de basura son enviadas semanalmente y, que al existir 4 equipos de Cribado grueso y 4 de cribado fino, dos de ellos respectivamente son puestos en funcionamiento durante ocho días para posteriormente ser rotados. El desarenador por su parte, “permite la decantación de las arenas o piedras presentes en el agua residual, este equipo generalmente elimina entre 1 y 2 m² de arena semanal”⁷⁹.

4.2.2 Tratamiento Primario.

Luego del tratamiento preliminar, la carga contaminante de naturaleza orgánica (expresada en materiales disueltos y materiales en suspensión) permanece en el agua, por lo que el objeto del tratamiento primario es la remoción de dichos residuos. En la PTAR este tratamiento se efectúa en estructuras conocidas como “reactores UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket), término que se

⁷⁹ Ibid

traduce como reactor anaerobio de flujo ascendente a través de un manto de lodos”⁸⁰.

El principal evento que ocurre en los reactores es la degradación en ausencia de oxígeno de materia orgánica (proceso anaerobio) promovida por bacterias especializadas. En este tratamiento se logra una remoción de cerca del 70% de la carga orgánica contaminante, la acción enzimática de las bacterias promueve varias reacciones de degradación, siendo la más importante la formación de biogás como subproducto del proceso. En ese transcurso las bacterias crecen y “se agrupan formando flocs que se depositan en el tercio inferior del reactor dando lugar al llamado manto de lodos responsable del proceso de biodegradación. Los lodos son retirados periódicamente y se depositan en lechos de secado”⁸¹.

Los UASB tienen un volumen de 3360 m³ y una profundidad de 4,60 m³, en los que el proceso de remoción de carga orgánica de una gota de agua residual tarda aproximadamente seis horas.

4.2.3 Tratamiento Secundario.

Como complemento del anterior, el tratamiento secundario permite la remoción adicional del 10 a 15 por ciento de la carga contaminante a través de la conducción del agua residual a una laguna facultativa o estanque donde se complementa la descontaminación por la acción conjunta de microorganismos que se adaptan al medio aerobio a nivel de superficie y al medio anaerobio del fondo de los estanques. Con este tratamiento se “logra una remoción total de un 80 ó 85 por ciento de la carga contaminante, límite establecido por la norma ambiental de vertimiento contenida en el decreto 1594 de 1984”⁸².

⁸⁰ URIBE, Ludwing. Óp. Cit. p. 29.

⁸¹ SAAVEDRA., Óp. Cit.

⁸² Ibíd.

Ahora bien, entre los productos sólidos derivados del proceso de tratamiento de aguas residuales en la PTAR Rio Frío se encuentran las basuras retenidas en el tratamiento preliminar y los lodos de purga de los reactores UASB. Estos últimos una vez deshidratados, mediante un proceso de secado al aire libre en 48 lechos que ocupan un área total de 5760 m², luego, son retirados y sometidos a un proceso de compostaje para subsiguientemente ser utilizados como abono orgánico tipo B en programas de reforestación que promueve la CDMB.

En cuanto a los productos de origen gaseoso se hallan los referentes al biogás, compuesto por una “mezcla de gases principalmente de Metano y Dióxido de Carbono generados en los reactores UASB, material que es extraído de las campanas de los reactores y conducido hacia un sistema de quemadores de piso o chimeneas a través de tuberías de 1,80 pulgadas de diámetro”⁸⁴. Mientras que el Ácido Sulhídrico (generador de olores indeseables), recogido en las cámaras de los sedimentadores de los UABS, es enviado a un sistema de biofiltración.

4.3 PROYECTO DE MODERNIZACIÓN

El progresivo crecimiento demográfico en el área metropolitana de Bucaramanga ha rebasado la capacidad instalada de la PTAR Rio Frío. Lo anterior ha permitido plantear la necesidad de un nuevo proyecto de modernización consistente en mejorar el sistema de tratamiento a través de la optimización en la captura del biogás, el control de las emisiones atmosféricas asociadas a la PTAR y la ampliación de la capacidad de operación de la Planta, de tal manera que se pueda atender el área de expansión urbana de las próximas décadas.

⁸⁴ URIBE, Ludwing. Óp. Cit. p. 32.

Con la optimización del biogás se dispondrá de un nuevo panorama de disponibilidad de energía a bajo costo, permitiendo mejorar el esquema actual de tratamiento secundario con un proceso de aireación, mediante la generación de energía mecánica a partir del biogás, y el impacto de olores con el manejo de los biosólidos.

Según la EMPAS⁸⁵, el proyecto MDL, se encuentra compuesto por:

- Optimización y ampliación del sistema preliminar a nivel de un cribado más fino y un desarenador adicional.
- Mantener en las futuras etapas de expansión, el sistema de tratamiento primario anaerobio tipo reactores UASB optimizados, adecuándolos con un sello hermético e hidráulico, y valorizando el biogás como su principal subproducto mediante la captura y generación de energía neta mecánica.
- Reemplazar las lagunas facultativas por un sistema de tratamiento aerobio-anóxico, utilizando la energía de la fase primaria, proyectándolo como un sistema operativamente autosuficiente y económico.
- Reducir las emisiones de GEI (CH₄) en cerca de 62 kton. Equivalentes de CO₂/año, procedentes de los reactores y eliminación de las lagunas; gestionando los recursos periódicos de la venta de Certificados de Reducción de Emisiones (CRE'S).
- Implementar investigación en la reducción de emisiones de Óxido Nitroso (N₂O).
- Minimizar el impacto causado por la emisión de olores ofensivos (H₂S) en el área de influencia de la Planta.
- Mejorar la calidad del efluente de la PTAR, con la optimización de la eficiente del tratamiento anaeróbico y la remoción de nitrógeno con el nuevo tratamiento secundario.
- Optimizar el tratamiento de los subproductos sólidos, produciendo un lodo inocuo con posibilidades de utilización como componente de abono orgánico.

⁸⁵ MENESES, Alexander y HERNÁNDEZ, Eudes E. Óp. Cit., p. 63.

4.4 MONITOREO DE LA AUTORIDAD AMBIENTAL

4.4.1 Instrumentos para el control de la calidad hídrica.

a) Índice de Riesgo de Calidad de Agua para Consumo Humano (IRCA)

Construido a través de la Resolución 2115 de 2007 del Ministerio de la Protección Social y del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial⁸⁶, el IRCA, es calculado mensualmente en cada municipio a nivel nacional; cálculo que se logra con la sumatoria de los IRCA obtenido en cada una de las muestras realizadas cada mes dividida por el número total de muestras realizadas en ese mes.

Este procedimiento debe ser llevado a cabo por la autoridad sanitaria, quien estimará, de acuerdo con la presencia de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos con valores por encima de los máximos permitidos, el nivel de riesgo del recurso.

La clasificación de los niveles de riesgo del agua que se suministra para consumo humano y las medidas que deben tomarse se muestran en la siguiente tabla:

⁸⁶ COLOMBIA. COMISIÓN DE REGULACIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO -CRA-. Decreto 1575 de 2007. (9 de Mayo de 2007). Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano: "Definición de Descuentos asociados a la Calidad del Servicio". Bogotá, D.C. Diario Oficial. Ed. 46.623. 2007.

Tabla 4. Clasificación del nivel de riesgo en salud según el IRCA por muestra, el IRCA mensual y las medidas que deben adelantarse

CLASIFICACIÓN IRCA (%)	Nivel de Riesgo	IRCA por muestra (Notificaciones que adelantará la autoridad sanitaria de manera inmediata)	IRCA mensual (Acciones)
80.1-100	INVARIABLE SANITARIAMENTE	Informar a la persona prestadora, al COVE, alcalde, gobernador, SSPD, MPS, INS, MAVDT, Contraloría General y Procuraduría General.	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de acuerdo a la competencia de la persona prestadora, alcalde, gobernación y entidades del orden nacional.
35.1-80	ALTO	Informar a la persona prestadora, al COVE, alcalde, gobernador y SSPD.	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de acuerdo a la competencia de la persona prestadora y de los alcaldes y gobernadores.
14.1-35	MEDIO	Informar a la persona prestadora, al COVE, alcalde y gobernador.	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de la persona prestadora.
5.1-14	BAJO	Informar a la persona prestadora y al COVE.	Agua no apta para consumo humano, susceptible de mejoramiento.
0-5	SIN RIESGO	Continuar el control y la vigilancia	Agua no apta para consumo humano, continuar vigilancia.

Fuente: Defensoría del Pueblo. Informe sobre la clasificación municipal de la provisión de agua en Colombia. 2009.

En el caso del AMB, la actividad que realiza la PTAR se ve opacada, debido a las industrias que no descontaminan el agua utilizada en sus procesos de producción, contribuyendo al deterioro de los cuerpos de agua circundantes. Un ejemplo de ello lo constituye “el Río de Oro, en el que su contaminación proviene especialmente de las empresas ubicadas en el sector de Chimitá”⁸⁷.

Una mirada al Plan de Ordenamiento y Manejo Ambiental del Río de Oro, permite ver que de los cinco afluentes que conforman esta subcuenca, la microcuenca de Río Frío es la que cuenta con una menor oferta hídrica. Su índice de escasez* (descontando los vertimientos de las aguas residuales por

⁸⁷ Según Abraham Fernández, subsecretario de Medio Ambiente de la Alcaldía de Bucaramanga, “el principal contaminante del recurso hídrico en la región son las aguas residuales”. En: MORENO, Angélica. El Río de Oro sigue siendo el más contaminado de Bucaramanga. En: Vanguardia Liberal. Bucaramanga. Marzo 22 de 2011.

* Obtenidos los cálculos de la oferta y demanda hídricas y teniendo en cuenta las definiciones de oferta total y oferta neta, el índice de escasez se establece con la relación: (Demanda hídrica en m³/Oferta hídrica superficial neta en m³) x 100.

consumos en Bucaramanga y Girón) alcanza el 138,8%⁸⁸. Un índice tan alto indica, de acuerdo a la base metodológica de la autoridad ambiental, que sumada la captación hay una fuerte presión sobre el recurso hídrico producido en esta microcuenca. La principal razón radica en el agudo estado de contaminación del cuerpo receptor que, dado su carácter insalubre, podría generar desabastecimiento en algunas épocas del año como consecuencia de la creciente demanda de las áreas urbanas que se surten de esta fuente.

Lo anterior coincide con los datos suministrados por el Instituto Nacional de Salud⁸⁹ en 2009, quién reportó cómo en Santander, sólo el 36% de sus municipios poseían un IRCA que demostraba la inocuidad o bajo riesgo del preciado líquido para el consumo humano. La población restante, esto es, el 64% de los municipios del departamento consumió agua clasificada entre nivel de riesgo medio (33%), alto (30%) e inviable sanitariamente (1%).

Quindío fue el único departamento que suministró agua apta para el consumo humano (sin riesgo) en la totalidad de sus municipios. El caso opuesto lo constituyó Vaupés, en el que el 100% de sus habitantes estuvo condicionado a la calidad sanitariamente inviable del agua del departamento.

b) Índice de Calidad de Agua (ICA)

El índice de Calidad de Agua (ICA), fue desarrollado por la National Sanitation Foundation para determinar la salubridad del recurso hídrico. Se determina a partir de la multiplicación de nueve parámetros, elevados a un valor atribuido en función de la importancia del parámetro, así:

$$I.C.A. = \prod_{i=1}^n C_i^{W_i}$$

⁸⁸ CDMB. Plan de Ordenamiento y Manejo Ambiental Subcuenca Río de Oro. Grupo de Planificación Ordenamiento Ambiental Territorial POAT, 2007. p. 34. (Ver Anexo 1).

⁸⁹ *Ibíd.*, p. 37

Actualmente el ICA es utilizado por la CDMB⁹⁰ a través de la Red de Monitoreo del Agua, un programa institucional de la corporación que permite evaluar la calidad del agua de las corrientes superficiales del Área de Jurisdicción de la entidad. El desarrollo del mismo, comprende un monitoreo que incluye toma de muestras, aforos de caudal, análisis de laboratorio y la evaluación de los resultados. La red tiene localizadas las estaciones en las principales corrientes del área de jurisdicción y en los afluentes de mayor relevancia.

Los elementos tenidos en cuenta para el cálculo del ICA son: “Oxígeno Disuelto, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Nitrógeno Total, Fósforo Total, Sólidos Totales, Turbiedad, Coliformes Fecales, PH y Temperatura”⁹¹, a los cuales se les asigna un valor que se extrae de los intervalos de calidad, distribuidos de la siguiente manera:

Tabla 5. Relación intervalo-calidad según ICA

INTERVALO	CALIDAD
80-100	Óptima
52-79	Buena
37-51	Dudosa
20-36	Inadecuada
0-19	Pésima

Fuente: CDMB

En el periodo comprendido entre 2002-2010 las calidades del agua variaron de Buena a Pésima a lo largo de la subcuenca Río de Oro. Sin embargo, en función del interés particular de este trabajo, el análisis del ICA se encuentra

⁹⁰ CDMB. Informe del Histórico de Calidad del Agua de la Red de Monitoreo de Calidad de Agua 2000-2010. En: CDMB Subdirección de Ordenamiento Integral del Territorio. [en línea]. p.5. [Consultado 5 May. 2011]. Disponible en: <<http://www.cdmb.gov.co/web/index.php/monitoreo-ambiental-infomenu3-456/red-de-monitoreo-del-agua-infomenu3-458/234-calidad-del-agua.html>>.

⁹¹ *Ibíd.* p., 6.

enfocado en los resultados obtenidos en los puntos de monitoreo de la microcuenca Río Frío.

Río Frío en su recorrido desde “el año 2000 al 2005 tuvo cinco puntos de monitoreo: RF-03, RF-2B, RF-P, RF-B y RF-1^a, en el año 2006 se suprimió el punto RF-2B, quedando sólo cuatro”⁹², los cuales se mantienen hasta la fecha:

- **RF-03:** Antes de la captación del Acueducto de Bucaramanga.
- **RF-P:** Situado bajo el puente vehicular, a 50 metros antes de la entrada principal de las instalaciones de la PTAR Río Frío, sobre la vía que conduce de Floridablanca a Girón. En este punto el cauce está constituido por cantos rodados y sustrato arenoso, con remansos en donde se deposita material a las orillas. El aspecto general del agua es ligeramente turbia, que podría deberse a las precipitaciones anteriores. Se encuentra vegetación en las orillas, del grupo de las Gramíneas y sobre las bases del puente se observa colonización de Bryofitas.
- **RF-B:** Ubicado en la intersección de la vía que comunica el interior de la PTAR con el Río Frío. Este punto está ubicado antes de la confluencia con la Quebrada Aranzoque. Las condiciones imperantes de este punto muestra gran alteración de las condiciones naturales. Permanecen los olores ofensivos y presencia de espumas, producto de la descarga de la Planta al curso del río. El sustrato es arenoso con presencia de cantos rodados, muestra materia orgánica parcialmente descompuesta y en tonalidades pardo-oscuro, material que se ha venido acumulando en las márgenes del río.
- **RF-1A:** Situado sobre el anillo vial en el municipio de Girón, bajo el puente de los Caneyes. La muestra es tomada 50 metros aguas abajo del puente en inmediaciones de la estación de servicio Terpel, frente a la urbanización San Isidro. En este punto se evidencia una gran alteración del lecho del río, debido a la explotación de arena sobre la margen izquierda del río. La margen derecha corresponde al muro de contención

⁹² *Ibíd.* p., 25.

que canaliza este tramo. El cauce está conformado por sustrato arenoso. Con relación a las orillas existe baja cobertura vegetal.

Los rubros del ICA de mayor interés están representados por los puntos RF-P (antes de la PTAR) y RF-B (después de la PTAR) en la tabla 6.

Tabla 6. ICA según puntos de Monitoreo en Río Frío

	RF-P	RF-B
2002	58	13
2003	52	18
2004	53	15
2005	45	19
2006	53	17
2007	49	18
2008	50	21
2009	38	11
2010	42	12

Fuente: CDMB

En el punto RF-P la calidad del agua en el curso del río se sitúa en Buena hasta 2005, año en el cual la calidad desciende a Dudosa. Este mismo descenso se observa para los años 2007, 2009 y 2010. Sin embargo, en RF-B, el periodo analizado reflejó que, salvo en el 2008, año en el que las características físico-químicas del agua favorecieron una categoría Inadecuada, la calidad del agua se mantuvo consecutivamente en Pésima.

Lo que refleja el escenario descrito es que, si bien la función social de la PTAR de Río Frío es positiva y claramente importante en el tratamiento de excretas y desechos biológicos de origen doméstico, la situación del Río Frío después de la confluencia con la Planta demuestra que la proporción de vertimientos sin tratar –o Bypass- o bien el porcentaje de remoción permitido por la

normatividad ambiental (Artículo 72, Decreto 1594 de 1984) no contribuye a la recuperación del cuerpo hídrico.

c) Tasas retributivas

En Colombia el cálculo y cobro de tasas retributivas se encuentra consagrado en el artículo 42 de la Ley 99 de 1993, sin embargo, la norma que permite recaudar fondos por concepto de tasas retributivas por vertimientos puntuales nace a partir del Decreto 3100 de 2003, como un instrumento que permitiría la mitigación del impacto ambiental generado en los cuerpos receptores.

Como método de cálculo para el cobro actual de la tasa retributiva, “la CDMB tiene en cuenta un factor nacional y un factor regional, utilizando como base de cálculo y aplicación”⁹³:

$$Cc = Q * C * 0.0864 * \left(\frac{t}{24} \right)$$

Donde:

Cc = Carga Contaminante, en kg/día, (DQO y Sólidos)

Q = Caudal promedio, en litros por segundo (l/s)

C = Concentración de la sustancia contaminante, en miligramos por litro (mg/l)

0.0864 = Factor de conversión de unidades

t = Tiempo de vertimiento del usuario, en horas por día (h)

Calculado de esta manera, la tasa retributiva, no permite una equitativa compensación del daño causado al desconocer los impactos de la contaminación en la fuente receptora. A este respecto, aunque la imposición de tasas retributivas, significa un avance en la política ambiental nacional e

⁹³ Normatividad Nacional. En: CDMB Subdirección de Ordenamiento Integral del Territorio. [en línea]. p.10 [Consultado 25 Jul. 2011]. Disponible en: <<http://www.cdmb.gov.co/web/index.php/normatividad-infomenu-235/464-normatividad-nacional-2.html>>.

internacional, la norma carece de un método técnicamente establecido que posibilite la medición en términos monetarios del verdadero daño causado o bien establece parámetros flexibles o culturalmente inviables para su cumplimiento, lo que evidencia fallas en el valor establecido como base de fijación del tributo y de conformidad con la norma reglamentaria, que consiste en retribuir el daño causado tanto en la fuente receptora de los vertimientos como en su área de influencia directa.

Ajustar métodos a factores y variables reales de medición de los costos por contaminación permite avanzar en la coherencia con los compromisos adquiridos en las cumbres ambientales, puesto que se dispondría de políticas más claras, que garanticen la protección de los recursos naturales y el medio ambiente. Además, se desarrollaría la concepción de Estado Social de Derecho cumpliendo con principios constitucionales como el de la obligación del estado como sujeto activo del tributo y de las personas y como sujeto pasivo en la conservación de las riquezas naturales de la nación; el de saneamiento ambiental como servicio público del Estado así como el derecho de todos los ciudadanos a gozar de un ambiente sano.

El cumplimiento del imperativo constitucional, obliga a la construcción de un orden jurídico que inhiba la violación de los derechos fundamentales del hombre y los seres vivos de su entorno. Para ello “es indispensable un método que permita la mayor aproximación en la determinación de los costos por alteración de existencia”⁹⁴. Lo anterior implica abordar la valoración desde una dimensión en la cual el valor de la contaminación estaría en función del costo de la recuperación –de las aguas superficiales procedentes de fuentes naturales- más los impactos en el hombre y su medio.

⁹⁴ *Ibíd.* p. 8.

d) Estudios físico-químicos

La importancia del análisis físico químico del agua es la de informar las características del componente abiótico o inerte de los ecosistemas acuáticos. Para tal fin, el Estatuto Sanitario de 1984, clasificó las corrientes por clases con respecto a los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos de la siguiente manera:

Tabla 7. Clases del Estatuto Sanitario de la CDMB

Clase	Usos	OD mg/l	OD%		DBO ₅ mg/L		pH		C. T. NMP/100 mL	C. F. NMP/100 mL
			min	max	min	max	min	max		
Clase 1	Consumo humano con tratamiento sólo desinfección Recreación.	>75			4		6.5	8.5		100
Clase 2	para consumo humano Tratamiento >5 convencional		70	75	5	10	6	8.5	<10,000	
	uso por contacto			70			5	9	1,000	<200
	contacto secundario			70			5	9	5000	
	Agrícola						4.5	9	5000	1,000
Clase 3	Agrícolas y Pecuarios con restricciones. Ciertos usos industriales.		60	70	10	30	6	8.5		
Clase 4	Recepción de vertimientos y asimilación de aguas servidas			60	>30					

Fuente: CDMB

Según el artículo 24 del Decreto 1594 de 1984 para el establecimiento de los modelos de simulación de calidad la Entidad Encargada del Manejo y Administración del Recurso (EMAR) debe realizar periódicamente los análisis pertinentes para obtener, por lo menos, información relacionada con:

- DBO: Demanda bioquímica de oxígeno a cinco (5) días.
- DQO: Demanda química de oxígeno.
- SS: Sólidos suspendidos.
- pH: Potencial del ion hidronio, H⁺.
- Temperatura.
- OD: Oxígeno disuelto.

- Q: Caudal.
- Datos Hidrobiológicos
- Coliformes (NMP)

En concordancia con lo establecido por la norma las características físico-químicas registradas en el 2010 se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 8. Parámetros físicoquímicos y bacteriológicos puntos de monitoreo RF-P y RF-B

PUNTO	DBO5	DQO	O.D	SST	pH Unidades	Rango de C.F (NMP/100ml)		Rango de C.T (NMP/100ml)		CLASE E.S
						Min	Max	Min	Max	
RF-P	11,2	41,05	5,56	192	7,8	540000	1.600.000	2.400.000	2.400.000	I
RF-B	149	352,5	0,51	526	7,35	240000	2.400.000	2.400.000	2.400.000	IV

Fuente: CDMB, Informe del estado de los recursos naturales primer semestre de 2010

Los parámetros físicoquímicos en el punto RF-P, evidencia condiciones de clase I, este punto así como el RF-03, ubicado en la bocatoma del acueducto de Floridablanca, ya se encuentran con obras del plan de saneamiento hídrico como colectores e interceptores que conducen las aguas residuales domésticas a la PTAR Río Frío. Los puntos RF-B y RF-1A, “presentan una Clase IV, debido a las condiciones muy bajas de Oxígeno Disuelto y concentraciones de DBO₅ que oscilan entre 100 y 200 mg/l”⁹⁵, permitiendo clasificarla como agua medianamente contaminada*. Nótese que antes de la confluencia con la Planta el nivel de DBO₅ no excedía los 12 mg/l, en el tramo posterior a los vertimientos este índice se eleva a 149 mg/l, lo que significa un aporte adicional de 137 mg/l, ello indica, según los valores observados, que cerca del 92% de la carga contaminante en este tramo obedece a la descarga de materia orgánica e inorgánica dispuesta por la Planta.

⁹⁵ CDMB. Informe del estado de los recursos naturales primer semestre de 2010. Subdirección de ordenamiento y planificación integral del territorio, SOPIT. p. 21.

* Ver Anexo 2.

Ahora bien, es importante tener en cuenta que en la actualidad se han propuesto otras medidas biológicas y fisicoquímicas alternativas para el conocimiento de las condiciones de una corriente de agua, organizando la flora acuática y animales en grupos. Así pues, se plantea el índice de diversidad de Shannon-Wiener que permite observar la distribución de las especies y la importancia de cada especie en la comunidad. Este indicador ecológico fue aplicado en el tramo de río Frío para los meses de marzo y septiembre de 2006, teniendo en cuenta la presencia de dos comunidades hidrobiológicas correspondientes a Bentos^{**} y Perifiton^{***}.

Los datos obtenidos en los puntos de monitoreo el Pórtico y el Caucho en septiembre correspondieron a valores de 0,41 y 0 respectivamente. Estos resultados demostraron que aunque el índice de diversidad biológica en el punto RF-P aumentó 0,13 puntos respecto a marzo del mismo año, este incremento fue poco significativo. Las comunidades bióticas naturales se caracterizan por la presencia de pocas especies y muchos organismos por especie o muchas especies y pocos individuos por especie y “aún cuando la contaminación en este tramo no sobrepasa la escala media, no es posible encontrar ninguna de las dos situaciones”⁹⁶. Por su parte, en el punto RF-B las condiciones para la reproducción de ambas comunidades continúan siendo insuficientes debido a que tanto a las condiciones hidráulicas como de calidad de agua permanecen alteradas.

Del mismo modo, es posible determinar que la microcuenca Río Frío tan sólo dispone plenamente del recurso hídrico de la submicrocuenca Río Bajo (sistema de acueducto) debido a que la calidad dudosa del agua no permite otros usos alternativos en la submicrocuenca restante (Ver Tabla 9).

^{**} Es una comunidad formada por los organismos que habitan los ecosistemas acuáticos. Incluye productores primarios fotosintetizadores. Citado por: PUENTE, Jairo. Universidad Santo Tomás, Bucaramanga, Colombia, Observación inédita, Marzo del 2011.

^{***} Comunidad compleja de microbiota (algas, hongos, animales, bacterias y desechos orgánicos e inorgánicos) normalmente asociada a algún sustrato. Ibíd.

⁹⁶ CDMB. Informe del Histórico de Calidad del Agua de la Red de Monitoreo de Calidad de Agua 2010. Óp. Cit., p.16.

Tabla 9. Cuencas, subcuencas y microcuencas del municipio de Girón

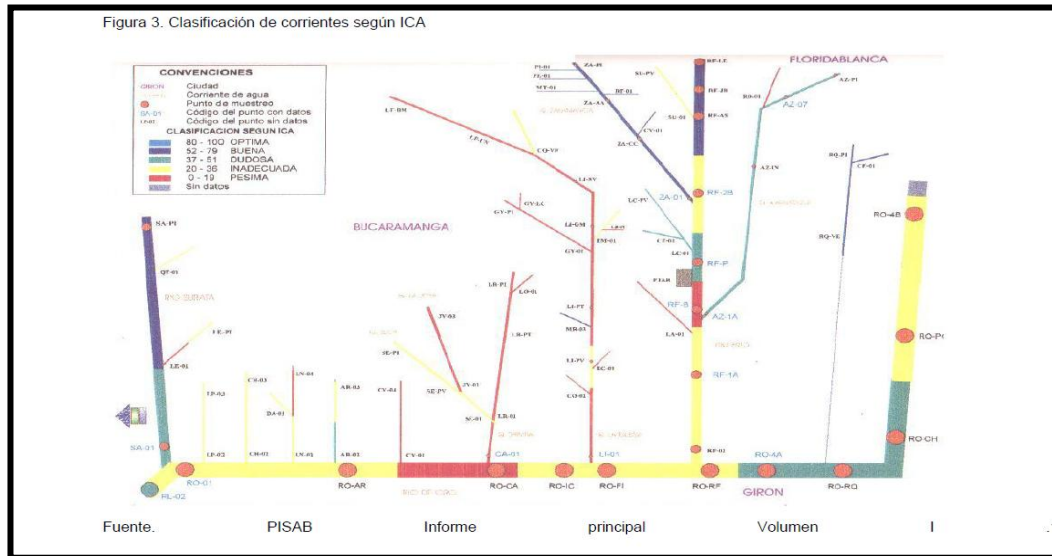
CUENCA	SUB CUENCA	MICRO CUENCA	SUBMICROCUEEN CAS	CAUDAL (L/Sg)	ÁREA INFLUEN. (Ha)	AFLUENTES	USO						
							ACUE		AGROP		D-RIEG		
							S	N	S	N	S	N	
RÍO LEBRIJA	Lebrija Alto	La Angula	Angula Alta	0.11 MB	7080	La Angula La Colorada		*	*			*	
			Puente Nave	0.11 MB	742	La Angula Puente Ana		*	*			*	
	Río de Oro	Oro bajo	Oro bajo bajo	0.13 B	2838	Río Frio Río de Oro	*		*			*	
			Oro bajo medio	0.08 B	6925	Río de Oro Q. Llano Grande		*	*		*		
			Oro bajo Alto	0.07 B	5142	Río de Oro Q. Montes		*	*			*	
			Ruitoque	0.11 B	1354	Q. Ruitoque Q. Aranzoque	*		*			*	
			El Palmar	0.09 B	1610	Q. Palo Q. Palo Gordo		*	*			*	
			Grande	0.09 B	2389	Loro Q. San Pedro		*	*			*	
			Río Frio	Frio bajo	0.14 B	1162	Río Frio	*					
			Aranzoque	0.19 B	20								

Fuente: Plan de Ordenamiento Territorial de San Juan de Girón 2000-2009. Diagnóstico. Centro de Estudios Regionales-UIS

4.4.2 Análisis de resultados según Informe del Histórico de Calidad del Agua.

La CDMB como autoridad ambiental y a través de la Subdirección de Ordenamiento y Planificación Integral del Territorio, ha logrado determinar que en los últimos diez años las corrientes que presentan mayor impacto por recepción de aguas residuales domésticas e industriales se encuentran en la cuenca del río Lebrija, la cual representa un 77% del área de su jurisdicción. En esta cuenca se encuentran los ríos de Oro, Suratá y Lebrija, los cuales reciben en sus microcuencas las aguas residuales del Área Metropolitana de Bucaramanga (Ver Figura 6).

Figura 6. Clasificación de las Corrientes según ICA



Fuente: Centro de Estudios Regionales CER-UIS

La coordinación de seguimiento y monitoreo ambiental, con el objetivo de llevar un control de los vertimientos sobre los cuerpos de agua del Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB), optó por realizar un muestreo y análisis de información bimensual, en el cual se realizan investigaciones por medio de muestras en el laboratorio de aguas en cada punto de monitoreo, los cuales se encuentran ubicados en los causes de los ríos. Estos muestreos se cotejan según los parámetros establecidos por el Índice de Calidad de Agua, en función del Estatuto Sanitario y el Decreto 1594/84.

De acuerdo con la CDMB⁹⁷, en el punto de monitoreo denominado el Caucho o RF-B ubicado en la microcuenca Río Frío, aguas abajo de la PTAR en el periodo comprendido entre 2000-2006:

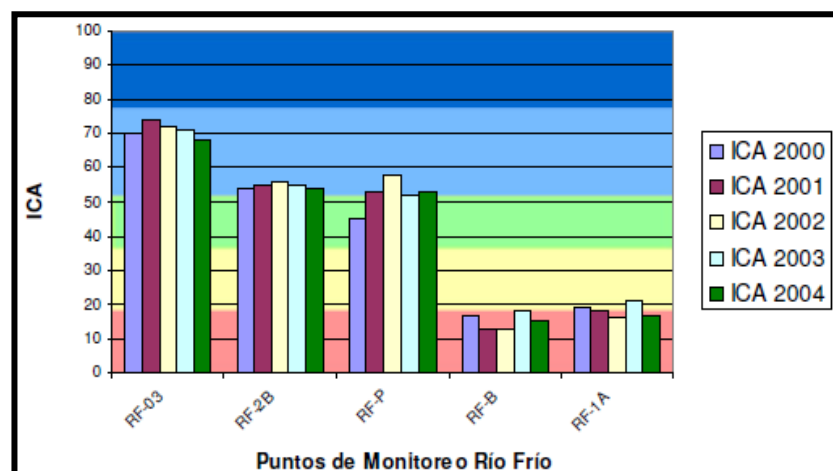
- Se apreció una disminución en la concentración de la DBO_5 a la mitad (42 mg/L) en el punto RF-B (134 mg/L y 122 mg/L respectivamente).
- El caudal promedio diario tratado aumentó de 410 LPS antes del arranque del reactor 4 a 460 LPS después del arranque, lo que se reflejó

⁹⁷ CDMB. Informe del Histórico de Calidad del Agua de la Red de Monitoreo de Calidad de Agua 2000-2006. Óp. Cit., p.15.

en la disminución del caudal promedio diario del bypass, pasando de 110 LPS a 25 LPS aproximadamente.

- En el punto RF-B el oxígeno disuelto puntual es de 0.5 mg/L, por lo tanto no se pueden mantener condiciones aeróbicas y se forman condiciones sépticas.
- El número más probable de coliformes en el agua residual afluyente a la Planta fue de 53×10^9 y el del efluente mayor a 2400×10^9 , el aumento de esta concentración podría indicar que el tren de tratamiento, principalmente las lagunas facultativas, es un medio adecuado para la multiplicación de estos microorganismos ya que presenta una temperatura y un pH ideal para ellos. Según la concentración de Coliformes Totales calculados en el punto RF-B (15×10^9 microorganismos/100 ml) no se está dando cumplimiento al Estatuto Sanitario, en donde desde este punto hasta la confluencia con el Río de Oro debe mantenerse en clase 2, o sea, con coliformes totales menores a 10.000 microorganismos/100 ml. Adicionalmente, el número más probable de Coliformes Fecales (14×10^9 microorganismos/100 ml) podría considerarse una dosis suficiente para ocasionar infecciones al presentarse ingestión de este tipo de agua (según el autor Crites and Tchobanoglous. Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones).

Gráfico 3. Histórico ICA Río Frío 2000-2004



Fuente: CDMB

Para los años 2007-2010, la entidad de control afirma que este punto de monitoreo continua aún presentando, según los parámetros fisicoquímicos, una clasificación pésima dado a que presentan cantidades muy bajas de Oxígeno Disuelto y altas concentraciones de Demanda Biológica de Oxígeno. La recepción de vertimientos y asimilación de aguas servidas “evidencia la poca efectividad del tratamiento en la PTAR Rio Frío y la nula recuperación o capacidad de resiliencia de cuerpo hídrico”⁹⁸ puesto que presenta una DBO₅ de 149 mgO₂/l en el último año, es decir, supera en 119 mgO₂/l la norma establecida; al igual que sucede con DQO que llega a ser de 352,5 mgO₂/l⁹⁹.

El impacto del vertimiento de la PTAR Rio Frío¹⁰⁰ es generado por la incapacidad de tratar el total de las aguas residuales afluentes, puesto que este proceso biológico es eficiente en la remoción de sólidos disueltos en el agua pero no en las sustancia químicas que puede contener el cuerpo hídrico contaminado. Además se atribuye a la influencia por parte de las avícolas que circundan en la zona y otras industrias de los alrededores que vierten sus desechos al rio sin realizar un tratamiento previo.

Lo anterior ha sido expuesto por el Centro de Estudios Regionales UIS en el diagnóstico que se realizó para el Plan de Ordenamiento Territorial de Girón 2000-2009, al esbozar:

A partir de la descarga de la PTAR el deterioro del río Frío es significativo. La concentración de DBO₅ y Fósforo se incrementa 10 veces, la DQO ocho veces, los sólidos se duplican, el nitrógeno total aumenta casi 5 veces y los coliformes fecales pasan a 5.3×10^7 NMP/100 ml. La entrada de la quebrada Aranzoque alivia la condición de este tramo pues pasa de clase 4 a Clase 3 y se mantiene así hasta la desembocadura en el río de Oro. El río Frío entrega con una DBO₅ de 26 mg/l, un oxígeno disuelto de 4.6 mg/l, sólidos totales de 268 mg/l, nitrógeno total de 15.43 mg/l y

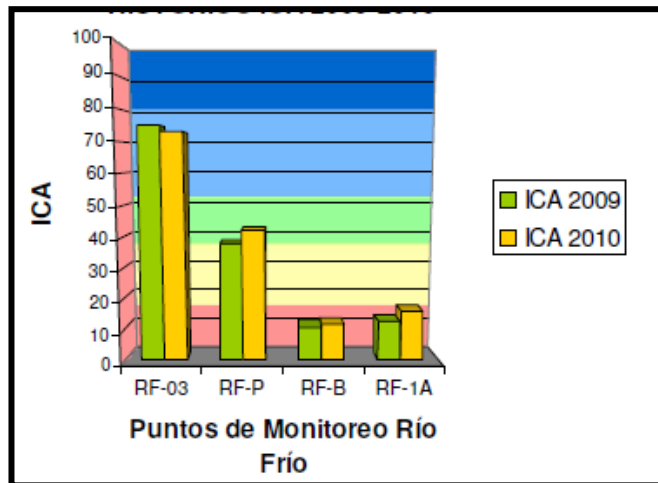
⁹⁸ CDMB. Informe de la Red de Monitoreo de Calidad de Agua 2010. Óp. Cit., p.8.

⁹⁹ *Ibíd.*, p. 15.

¹⁰⁰ *Ibíd.*, p. 18.

coliformes fecales en 1×10^7 NMP/100 ml¹⁰¹. La carga orgánica que aporta es de 6.170 kg DBO₅/día. Es evidente que en el río Frío no se cumple con los objetivos de calidad establecidos por la CDMB¹⁰².

Gráfico 4. ICA Rio Frío 2009-2010.



Fuente: CDMB

Cabe resaltar que la oferta neta de la subcuenca Río de Oro es de 70.858.905 metros cúbicos de agua, de los cuales son demandados en las diferentes microcuencas un total de 45.065.743 metros cúbicos de acuerdo a los consumos asociados en las diversas actividades económicas. Según, el plan de ordenamiento y manejo ambiental de esta subcuenca, para “el 2002 en la microcuenca Río Frío se demandó aproximadamente 20.027.476 metros cúbicos de agua, lo que constituyó aproximadamente el 50% de la demanda por agua y de los cuales 1.100 litros por segundo se convirtieron en agua residual”¹⁰³.

¹⁰¹ Ibíd. p. 90

¹⁰² ALCALDIA DE GIRÓN. Plan de Ordenamiento Territorial de San Juan de Girón 2000-2009, Óp. Cit., p. 87.

¹⁰³ CDMB. Plan de Ordenamiento y Manejo Ambiental Subcuenca Río de Oro. Óp. Cit., p. 7.

4.5 CONTAMINACIÓN POR VERTIMIENTOS DE LA PTAR RIO FRÍO

Uno de los parámetros que permite identificar la contaminación hídrica* es la afectación que esta produce sobre el ser humano más que sobre los ecosistemas acuáticos y las propiedades o apariencia del cuerpo de agua.

Dado que el trayecto del río Frío comprende el paso por una porción del casco urbano de Girón, aguas abajo de la Planta, la contaminación hídrica no sólo provoca un impacto a nivel ambiental sino también una alteración del bienestar social producto de la presencia de vectores y/o bacterias atribuibles al estado del río.

Según la Sentencia T-851 del 2010, las enfermedades que pueden generarse a partir del vertimiento de aguas residuales sobre cuerpos hídricos sin la debida inspección, vigilancia y control del servicio de conducción de las mismas, son:

Tabla 10. Enfermedades transmitidas a través del contacto con aguas infestadas de organismos patógenos

<i>Enfermedades transmitidas por el agua</i>	Cólera, fiebre, leptospirosis, giardiasis, amibiasis, hepatitis infecciosa.
<i>Enfermedades "lavadas" por agua</i>	Sarna, sepsis de la piel, pilán, lepra, piojos y tifus, tracoma, conjuntivitis, disentería bacilar, salmonelosis, diarrea enteroviral, fiebre paratifoidea, ascariidiosis, tricuriasis, enterobiasis, anquilostomiasis.
<i>Enfermedades con base en el agua</i>	Esquistosomiasis, urinaria, esquistosomiasis rectal, dracontiasis (gusano guinca).
<i>Vectores relacionados con el agua</i>	Fiebre amarilla, Dengue (clásico o hemorrágico), arbovirus, encefalitis, filarías de bancroft, paludismo, oncocercosis.
<i>Enfermedades debidas a la eliminación de heces</i>	Encefalitis letárgica, clonorquiasis, necatoriasis, difilobotriosis, fasciolopsiasis, paragonimiasis.

Fuente. Expediente T-2.700.081

* Entendida como la carga de material orgánico e inorgánico que altera las características fisicoquímicas propias de un agua salubre.

Desde el punto de vista de la familia la exposición a dichos agentes genera algún grado de morbilidad que luego debe ser atendido produciendo costos directos e indirectos. Los de carácter directo están relacionados con el pago de consultas, la compra de medicamentos o la realización de remedios caseros.

Entre los costos indirectos se encuentran la pérdida de ingresos por el tiempo dedicado al cuidado y convalecencia y los días de escolaridad perdidos*. Identificar, cuantificar y valorar los costos familiares derivados de la presencia de síntomas gastrointestinales y de la piel en la población circundante al río Frío permite hacer explícitos los impactos de los vertimientos puntuales que realiza la PTAR sobre la economía familiar.

De esta manera, en el proceso de identificación de los costos familiares, se ha reconocido que las enfermedades generan consecuencias económicas sobre los hogares, entendidos éstos como “unidades con funciones económicas inseparables”¹⁰⁴. Esta particularidad en el concepto de *hogares* posee tres implicaciones importantes en el estudio de los efectos de las enfermedades.

La primera, considera que la respuesta a las enfermedades no se da de forma aislada por los individuos afectados, sino colectivamente, es decir, la manifestación o sintomatología de cualquiera de estas enfermedades afecta el funcionamiento del hogar en su conjunto. La segunda, sugiere la necesidad de considerar el hogar como una unidad tanto de consumo como de producción, donde los individuos comparten los recursos disponibles, monetarios y no monetarios, para configurar el ingreso total del hogar contribuyendo así al bienestar individual y familiar. La tercera, reconoce que el hogar siendo una unidad de consumo, producción y reproducción de la fuerza de trabajo, implica la conservación de la salud como una condición necesaria del hogar y del aparato productivo, en el que la morbilidad no sólo afecta el consumo y la producción, sino el sostenimiento de la capacidad laboral.

* El cálculo para la estimación del valor de los días de escolaridad no asistidos es aún un tema controversial.

¹⁰⁴ MENDIETA, Juan Carlos. Óp. Cit., p. 27.

Así, la presencia de enfermedad en al menos uno de los miembros del hogar implica una disminución en el nivel de bienestar total del mismo, expresado a través de tres maneras:

Parte del ingreso del individuo afectado, y por tanto del hogar, es orientado a la búsqueda de diagnóstico y tratamiento; es necesario que al menos otro miembro de la familia dedique todo o parte de su tiempo al cuidado del enfermo; finalmente, se produce una pérdida de ingresos debido a los días de incapacidad que pierde el individuo afectado, si éste es adulto económicamente activo¹⁰⁵.

Por tanto, para lograr una visión global de las consecuencias económicas de la enfermedad en el hogar, debe tenerse en cuenta sus efectos en la interacción social y las actividades productivas para el mercado y el hogar así como sus repercusiones en actividades de tipo reproductivo tales como el trabajo doméstico y el estudio. Siendo este último considerado un factor fundamental en la formación de capital humano, al cual dedican gran parte del tiempo jóvenes y niños.

El estudio de las consecuencias económicas de las enfermedades y, en este caso, de los costos familiares debido a la presencia de síntomas gastrointestinales y de la piel a causa de la confluencia con el río Frío –aguas abajo de la PTAR de la zona- puede ser abordado a partir de un método de valoración ambiental basado en costos, el cual ha sido ampliamente usado para estimar los gastos erogados para mitigar la externalidad causada por la contaminación.

¹⁰⁵ *Ibíd.* p. 28

5. MODELO EXPERIMENTAL

5.1 METODOLOGÍA

El presente modelo ha sido construido con el propósito de evaluar la eficiencia operativa de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Río Frío, en términos de sostenibilidad ambiental y reducción de los costos sociales asociados al impacto directo de la alteración físico química del río Frío.

El Modelo consta de una ecuación de comportamiento, que permitirá de una parte, identificar la dependencia de la calidad del agua con el costo total trimestral en que incurrieron las entidades encargadas de la PTAR (CDMB o EMPAS), destinado a controlar la carga contaminante vertida en el río. Y de otra parte, observar de qué manera influye la carga contaminante en la modificación del número de consultas médicas trimestrales, atendidas en el Hospital San Juan de Girón (HSJG) y los Centros de Atención Médica Inmediata (CAMI) del municipio.

Los datos tenidos en cuenta están basados en los Registros Individuales de Prestación de Servicio (RIPS) suministrados por el HSJG en el periodo 2002-2010. El número de consultas médicas trimestrales del modelo se extrajeron mediante el empalme de los RIPS con la base de datos del Sistema de Identificación y Clasificación de Potenciales Beneficiarios para Programas Sociales (SISBEN), suministrada por la Alcaldía de Girón, a fin de identificar las personas sisbenizadas que padecieron alguna enfermedad intestinal o dermatológica (eventos) y que habitan en la zona que comprende Los Bambúes, Brisas del Campo, Almenares de San Juan y Girón Campestre, comunidades pertenecientes a la zona 3 del municipio de Girón.

La información respecto a las partículas contaminantes, que expresa la cantidad de Demanda Química de Oxígeno (DQO) y los sólidos Suspendidos Totales (SST) presentes en el agua, fueron otorgadas por la Empresa Pública

de Alcantarillado de Santander S.A. (EMPAS). Mientras que los costos trimestrales erogados por concepto de mantenimiento e inversión fueron proporcionados simultáneamente por la CDMB (2002-2005) y la EMPAS (2006-2010).

Para el contraste de los resultados del modelo se llevó a cabo una encuesta en la que se verificó la tasa de prevalencia* de los eventos referidos anteriormente, durante el año 2010 en los barrios mencionadas, cuya distribución espacial y socioeconómica es altamente homogénea, esto con el propósito de de un grado de afectación análoga entre una y otra.

Tanto el modelo econométrico como el trabajo de campo permitieron a los autores el desarrollo del Método de Costos de Mitigación (MCM), con el cual se cuantificó el costo social promedio de la externalidad negativa provocada por los vertimientos puntuales de la Planta.

5.1.1 Muestra.

La técnica de muestreo utilizada, para la realización de la encuesta, corresponde a la del muestreo aleatorio estratificado. La población objeto de estudio está conformada por una muestra total de doscientas diecisiete familias vinculadas al Sisben. La muestra seleccionada pertenece a cuatro barrios localizados al sur de Girón.

El cálculo para la estimación de la población objetivo, por barrio, se llevó a cabo por medio de la fórmula:

* Se expresa como el número de casos presentados por enfermedades intestinales y de la piel en los barrios referenciados de la zona 3/ el número de casos presentados por enfermedades intestinales y de la piel en el municipio, en 2010

$$n = \frac{(N * Z^2 * p * q)}{\ell^2(N - 1) + (Z^2 * p * q)}$$

Obteniendo las siguientes submuestras:

Tabla 11. Muestra desagregada

Estrato	Localidad	Total sisbenizados	Sisbenizados por submuestra	Proporción
1	Bambúes	206	89	40,71%
1	Almenares de San Juan	70	30	13,83%
2	Brisas del Campo	180	77	35,57%
1	Girón Campestre	50	21	9,81%

Fuente: Elaboración propia de los autores

5.1.2 Variables: descripción.

Las variables seleccionadas para el modelo econométrico son las siguientes:

- **Costo Total (CT):** Se refiere a la suma de los costos que erogaron la CDMB y la EMPAS en sus periodos respectivos de administración de la PTAR. Estas cifras se presentan en unidades monetarias expresadas en pesos corrientes.
- **Carga Contaminante Disuelta y Suspendida (CDS):** Es la sumatoria entre la medida aproximada del contenido total de materia orgánica disuelta en el cuerpo hídrico (DQO) y la cantidad de materia orgánica e inorgánica presente en el agua y que permanece suspendida. Se expresa en mg/l.
- **Consultas Médicas (M):** Se refiere a la cantidad de consultas médicas atendidas por concepto de enfermedades de naturaleza gastrointestinal y de la piel. En este sentido, se contarán el número de casos

trimestrales registrados en el archivo de consulta, teniendo en cuenta la localización de la vivienda del individuo afectado por la morbilidad.

- **Gestión EMPAS (GE):** Variable dicótoma que por su característica cualitativa no puede medirse numéricamente. Esta variable tomará el valor de “0” cuando la administración de la PTAR no esté a cargo de la EMPAS (o esté a cargo de la CDMB) y tomará el valor de “1” cuando suceda lo contrario.

Es necesario aclarar que los sesgos en la relación funcional están implícitos en los modelos de regresión lineal múltiple, en nuestro caso, esta limitación obedece a información insuficiente y a la exclusión de variables explicativas tales como fenómenos naturales, cantidad de residuos sólidos o líquidos arrojados al río por parte de los habitantes rivereños aguas debajo de la planta, la implementación de alguna norma ambiental que pudiera perjudicar o favorecer el paisaje hidrográfico en el área de estudio, etc.

5.2 ACOPLAMIENTO: RIPS - BASE DE DATOS SISBEN

En respuesta al proceso de descentralización, a partir de 1998 el Hospital San Juan de Girón ha asumido la prestación del servicio de salud, conjuntamente con diez Centros de Atención Médica Integral (CAMI). En estos se atiende a los usuarios de las trece Empresas Prestadoras de Servicio (EPS) con las que cuenta el municipio: Colmena, Sanitas, Comfenalco, Susalud, Saludcoop, Humana vivir, Salud Colpatria, Famisanar, Solsalud, Saludvida, Red Salud Atención Humana, Salud Total y los usuarios de Seguro Social.

En cuanto a régimen subsidiado, las Instituciones Prestadoras de Salud (IPS) de mayor relevancia son: Saludvida, Coomultrasan, Susalud, Clínica Palermo, Clínica Santa Teresita-Finsema, Central Médica Las Nieves, donde se atiende a los docentes (Avanzar) y los pacientes de Famisanar.

La población sisbenizada del municipio de Girón asciende a 106.980 para el año 2010 de los cuales el 4,55 por ciento (aproximadamente 4869 personas) proceden de los barrios de la zona 3 utilizadas como referencia para este estudio.

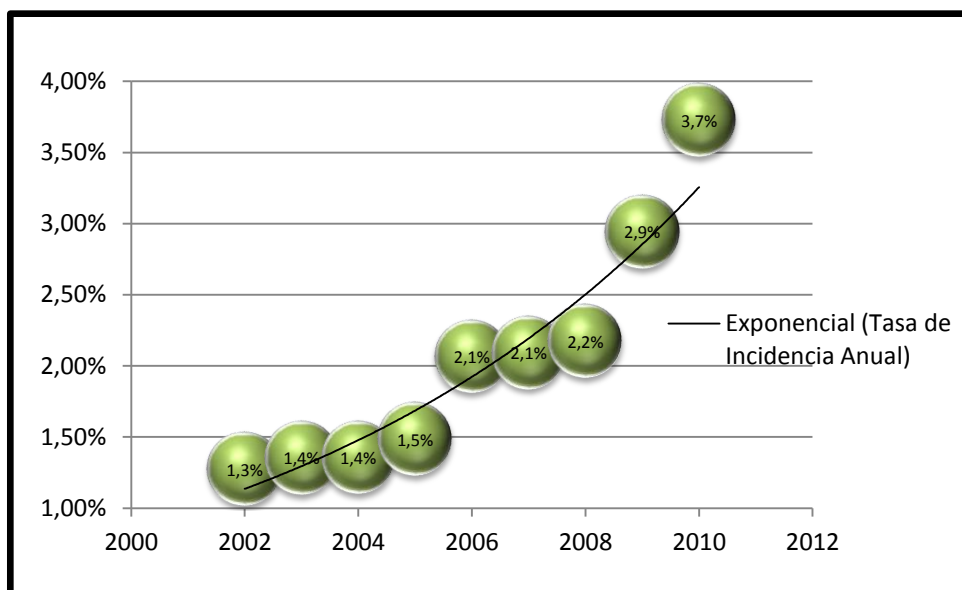
Una revisión preliminar a los datos suministrados por el HSJG, permite observar que durante el año 2010 el número de incidencias de enfermedades intestinales y de la piel (evento) fue de 590 casos, de los cuales sólo 21 de ellos se presentaron en el área de estudio, ello indica que la frecuencia con la que ocurre el evento en la población objeto de estudio en relación con la población total afectada del municipio de Girón es de 3,6 por ciento.

Además, cabe resaltar que del total de la población sisbenizada en el municipio el 0,6 por ciento vio alterado su bienestar a causa de las enfermedades mencionadas, y tan sólo el 0,4 por ciento de los sisbenizados de Los Bambúes, Almenares de San Juan, Brisas del Campo y Girón Campestre, presenta sintomatología asociada a tales morbilidades. Lo anterior parece señalar, paradójicamente, que las consultas médicas atendidas por enfermedades intestinales y dermatológicas reflejan una prevalencia* poco significativa en esta área mayormente expuesta a la contaminación del río Frío en comparación con el resto de la población. La relación entre el número de casos presentados en los sisbenizados objeto de estudio y el número de casos presentados en la población de Girón (0,17 por ciento) indica también un bajo grado de alteración, en términos de salud, por contaminación hídrica.

Sin embargo, la observación de los mismos datos, en términos proporcionales, demuestra que a pesar de no ser, aparentemente, muy elevada la tasa incidencia en el área de estudio, sí existe una tendencia creciente del número de casos médicos presentados a nivel gastrointestinal y dermatológico, en el área de estudio, a medida que asciende en la escala de tiempo.

* Se refiere al número de individuos que, en relación con la población total, padecen una enfermedad determinada en un momento específico.

Gráfico 5. Tasa de incidencia* de enfermedades intestinales y de la piel en el área de estudio



Fuente: Elaboración propia

No obstante con tan sólo una observación preliminar de los datos suministrados y dada la inviabilidad de establecer una relación entre el número de personas expuestas de la población objetivo y aquellas que no estuvieron expuestas pero que habitaron en la misma área, fue imposible la utilización de medidas de asociación** como indicador epidemiológico; dado a que el impacto de la PTAR sobre el cuerpo hídrico estaba presente aún antes de que la población objeto de estudio se asentara en esa área. Por lo que se recurrió al uso de herramientas estadísticas, como lo es el MCO.

* Se expresa como el número de casos presentados por enfermedades intestinales y de la piel en los barrios referenciados de la zona 3/ el número de casos presentados por enfermedades intestinales y de la piel en el municipio, durante el periodo 2002-2010. Se diferencia de la *prevalencia* en que esta última sólo tiene en cuenta la morbilidad presentada en un año específico.

** Evalúan la fuerza con la que una determinada enfermedad o evento de salud (que se presume como efecto) se asocia con un determinado factor (que se presume como su causa).

5.2.1 Estudio Econométrico mediante MCO.

Con el fin de determinar la de incidencia se optó por la implementación del modelo de Mínimos Cuadrados Ordinarios como estimador, donde se relacionó, mediante el paquete estadístico EVIEWS, el número de consultas Médicas (M) en función de la Carga Contaminante Disuelta y Suspendida (CDS) y de una variable dicótoma que permita expresar la labor de la EMPAS como ente encargado.

Para el caso de estudio el modelo consta de una relación funcional multivariada que expresa la relación existente entre las anteriores variables más el término de perturbaciones aleatorias, esto es:

$$M_i = f(CT_i, CDS_i, GE_i) + u_i$$

Donde:

La variable dependiente o endógena se identifica como **(M)**, las variables independientes o exógenas, son **(CT)**, **(CDS)** y **(GE)** lo que significa que los cambios en estas variables modifican el valor de la variable **M** en cuanto a la reducción de visitas al hospital por enfermedades intestinales y de la piel durante el trimestre *i*, al incrementar la inversión, disminuir la carga contaminante y al encontrarse la Planta en manos de una entidad pública descentralizada en lugar de una corporación autónoma regional.

Las hipótesis de comportamiento en el caso de esta función indica que:

- La relación entre las variables **M** y **CT** debe ser inversa:

$$dM/dCT < 0$$

- La relación entre las variables **M** y **CDS** debe ser directa:

$$dM/dCDS > 0$$

5.2.2 Resultados del estimador.

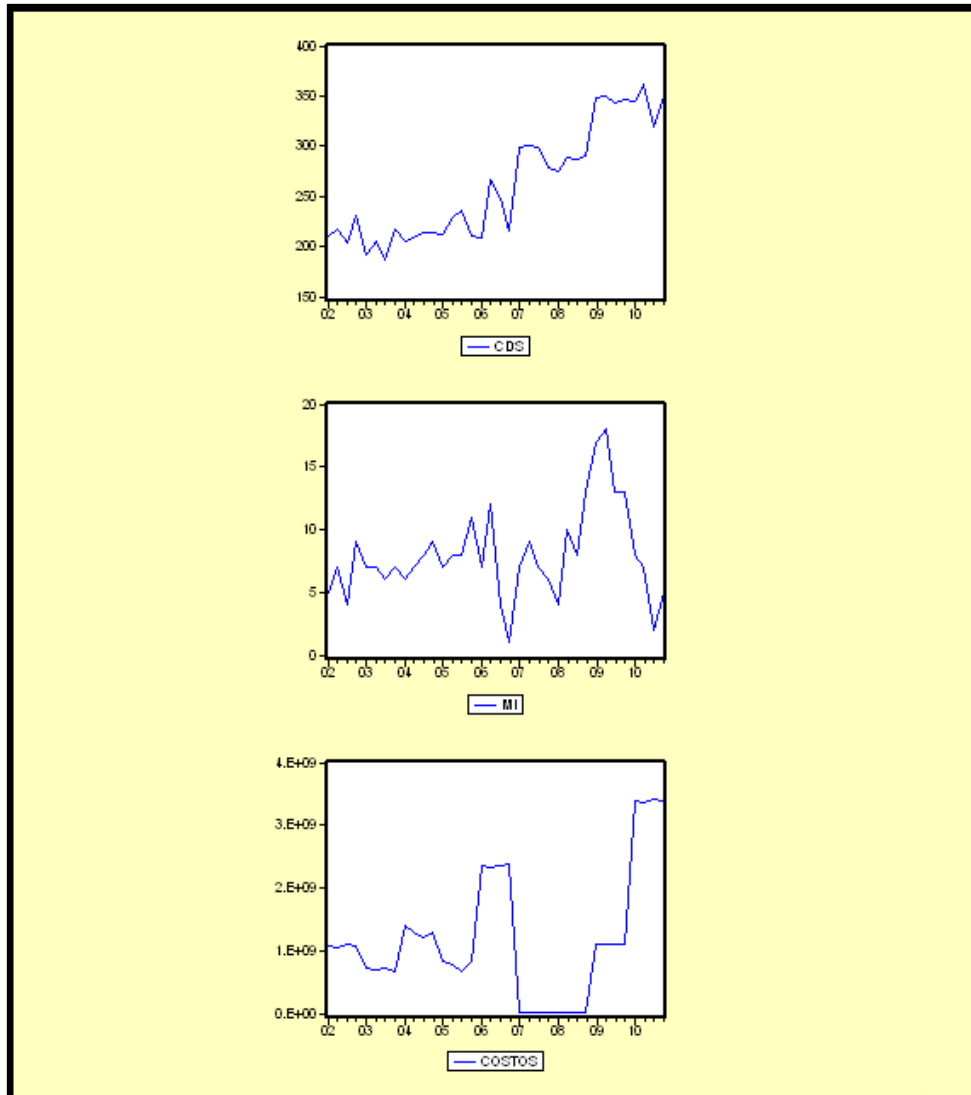
Para probar las hipótesis planteadas se utilizó el método de regresión lineal múltiple para estimar los parámetros de la relación entre las variables dependientes e independientes. La ecuación de regresión es la siguiente, si se supone una relación lineal entre las variables consideradas:

$$M = \beta_0 + \beta_1 CDS + \beta_2 CT + \beta_3 GE + \varepsilon$$

Gráficamente, es posible observar que existe una relación directa entre el M y la cantidad de CDS, mientras que su comportamiento es inverso al CT. No obstante, en el segundo trimestre del 2009, se evidencia un crecimiento coyuntural de 10 consultas medicas adicionales en tan sólo 6 meses (tomando como referencia el numero de eventos registrados en el tercer semestre del 2008) un número que supera a la media en 2,7 desviaciones estándar; este comportamiento podría asociarse a la fuerte ola invernal que azotó al país en ese periodo y que provocó la declaración de la alerta naranja en este municipio, especialmente en el asentamiento Los Bambúes, según el Decreto 285 del 14 de octubre de 2008, expedido para expresar la situación de estos barrios.

Por su parte, el comportamiento irregular de los costos podría explicarse por la desagregación de la información, en el sentido de que los rubros hasta el año 2006 fueron proporcionado por la corporación autónoma regional y a partir del 2007 por la empresa descentralizada EMPAS, la verificación de los costos totales de cada periodo no fue posible debido a los extensos procesos burocráticos requeridos, que debían llevarse en cada entidad, para acceder a la información física.

Gráfico 6. Relación M, CDS y CT 2002-2010



Fuente. Elaboración Propia

Además se infiere que durante el periodo de estudio la cantidad de carga contaminante disuelta y suspendida que vierte la PTAR al río Frío es de aproximadamente 261,5 miligramo por litro (mg/l) y cuyo costo promedio es de mil ciento noventa millones cuatrocientos dieciséis mil cuatrocientos treinta y siete pesos (\$ 1.190.416.437), se estima que la EMPAS hasta hace poco fue la entidad legalmente a cargo de la PTAR (44,4 por ciento).

Durante los últimos ocho años, de acuerdo a los datos muestrales, el vertimiento de mayor carga sobre el río Frío se reflejó en el segundo trimestre de 2010 con 361mg/l de CDS, contrario a lo emitido en el tercer trimestre de 2003 (187 mg/l). Entretanto los meses de Julio a Septiembre del último año, fue el trimestre en el que la EMPAS emitió los mayores costos para concepto de mantenimiento e inversión, posiblemente estos rubros fueron dirigidos para cumplir con las obligaciones financieras que exigió la segunda fase del proyecto de MDL; los costos mínimos que se evidenciaron durante el periodo de estudio se registran para el segundo trimestre de 2007.

El promedio de consultas médicas anuales generadas por el evento en la población de estudio es de ocho. Durante el segundo trimestre del año 2009 el número de incidencias fue alrededor de 18, acontecimiento máximo de concurrencia por dicha causa, por el contrario en el último trimestre del 2006 se percibió el menor número de consultas (1). Cabe resaltar que el número de morbilidades anteriormente presentado, para efectos de estudio, no tiene en cuenta los cuadros clínicos repetitivos o el reingreso del paciente por el mismo concepto.

Tabla 12. Estadística Descriptiva

	M	CDS	Costos	GE
Media	8	261,8	1.190.416.437	0,4444
Mediana	7	241,5	1.083.857.182	0
Máximo	18	361	3.427.366.151	1
Mínimo	1	187	4.254.504	0
Desviación Estándar	3,63	56,28	1.037.183.790,14	0,50

Fuente. Elaboración Propia

Ahora bien, la ecuación del modelo empírico que se analiza es la siguiente:

$$M = \beta_0 + \beta_1 CDS + \beta_2 CT + \beta_3 GE + \varepsilon + AR(1)$$

Conforme a los resultados del estudio econométrico efectuado para analizar la magnitud de los costos sociales (daños a la salud), y de acuerdo con los estadísticos obtenidos para comprobar la validez de los parámetros del modelo, como son, los coeficientes de correlación (r) y determinación (R2), así como el estadístico Durbin-Watson (Dw), es posible hacer algunas interpretaciones con relación a los valores de los coeficientes de regresión a un nivel de significancia del 95 por ciento y cuya prueba de bondad de ajuste es del 68,08 por ciento. Una vez estimados los parámetros del modelo, la tendencia estimada es:

$$M = -12,06 + 0,10 * CDS - 2,33 \epsilon^{-0,9} * CT - 8,53GE$$

Tabla 13. Función del Estimador MCO

Variable	Coefficiente	t-estadístico	Probabilidad
CDS	0.101946	4.581.150	0.0001
COSTOS	-2.33E-09	-4.023.967	0.0004
GE	-8.538.003	-3.146.877	0.0037
C	-1.206.618	-2.528.327	0.0170
AR(1)	0.517164	2.835.265	0.0081

Fuente. Elaboración Propia

El coeficiente de la cantidad de carga contaminante de materia orgánica e inorgánica disuelta y suspendida en los vertimientos que realiza la PTAR al río Frío refleja una relación directa con el número de consultas médicas cuya referencia está en función de las enfermedades gastrointestinales y de la piel; situación que coincide con la hipótesis teórica establecida anteriormente, es decir, a medida que aumenta la cantidad de CDS se modificara la incidencia de dicha morbilidad. Específicamente, si la carga contaminante aumenta en veinte miligramos por litro, el número de personas afectadas se elevará a dos en el área de influencia de la zona 3 del municipio.

El signo de β_2 de la variable explicativa CT muestra el comportamiento negativo que tiene M ante cambios en el costo de la PTAR. Concretamente, si la EMPAS decide invertir 858.369.099 pesos adicionales en mecanismos para controlar la contaminación hídrica, el número de consultas médicas se reducirá en 2, como respuesta al incremento en la inversión.

Asimismo, la variable dicótoma GE representa en promedio, de acuerdo con el coeficiente obtenido, una disminución de 8,5 eventos gastrointestinales y dermatológicos, teóricamente este suceso podría relacionarse con la mejor administración y seguimiento del proceso operativo de la planta de tratamiento dado que la función de la EMPAS se dirige exclusivamente a la provisión de saneamiento básico y tratamiento de aguas residuales, contrario a años predecesores en los que la CDMB fue la entidad administradora encargada de múltiples actividades ambientales.

Por otra parte, la ecuación de regresión refleja una situación muy importante para la presente investigación, ya que hace evidente el comportamiento inverso entre la cantidad de CDS y CT, es decir, dada la ausencia de morbilidad en el área e independientemente de la entidad encargada de la PTAR, Ceteris Paribus, se deduce que con el costo mínimo erogado en el periodo de referencia (\$4.254.504 en el segundo trimestre de 2007) la carga contaminante disuelta y suspendida debería ser de 5 mg/l, contrario a lo evidenciado en el periodo comprendido entre Marzo y Junio de 2007 en el que el CDS fue de 109 mg/l.

Adicionalmente, se estimó con la regresión lineal el número de consultas médicas que normalmente, dada la carga contaminante vertida y los costos trimestrales de la PTAR, se evidenciarían en la población objeto de estudio para los periodos dados; como resultado de lo anterior, es posible afirmar que en los registros individuales de prestaciones de servicio (RIPS) los casos por dicha morbilidad no coinciden con los considerados por el estimador de MCO, en otras palabras, en promedio veinte personas del total de la población

afectada durante los últimos ocho años no estarían registradas en los RIPS u tomarían otra clase de alternativa para tratar su morbilidad.

En resumen, se puede decir que efectivamente la cantidad de CDS producto de los vertimientos puntuales que realiza la PTAR al río frío afectan y causan daño a la comunidad al aumentar la morbilidad por enfermedades gastrointestinales y de la piel, y que los costos que se implementan en el funcionamiento de la Planta reducen en un mínimo grado el nivel de morbilidad en los barrios, puesto que el tratamiento biológico implementado para el tratamiento de las aguas residuales tan solo remueve el 85% de la carga contaminante. De ahí que, aunque exista una inversión para elevar la capacidad instalada de la planta se hace necesario la implementación de un tratamiento complementario o una cuarta fase que disminuya la cantidad de materia orgánica e inorgánica disuelta en el agua tal como es el caso de Francia, país líder en el tratamiento del agua residual.

Además, dado la estimación anterior cabe destacar la función que ha realizado la EMPAS como ente encargado de la administración de la PTAR Río Frío.

5.3 RECOLECCIÓN Y EMISIÓN DE FUENTES PRIMARIAS

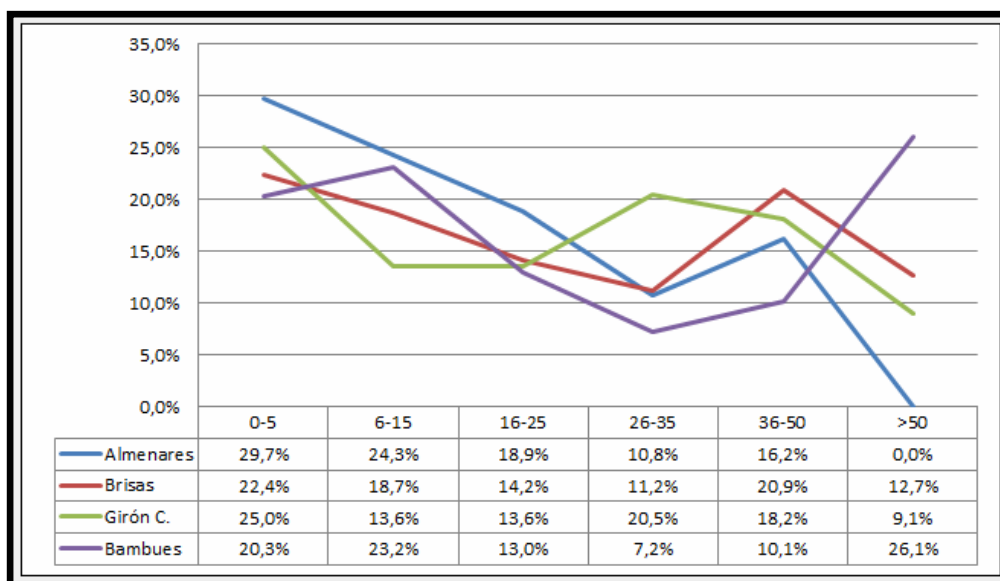
Dada la ambigüedad entre los resultados oficiales y los calculados por el MCO, fue necesaria la realización de la recolección de fuentes primarias que corroborara la situación registrada en los archivos de consulta del HSJG, o bien la relación existente entre calidad hídrica y el grado de morbilidad evidenciada a través del estimador MCO.

La recolección del trabajo de campo consistió en la aplicación de una encuesta a la población de los Bambúes, Girón Campestre, Almenares de San Juan y Brisas del Campo.

Con base en la encuesta se evidenció que el nivel de Sisben predominante lo constituye el nivel 1, ello significa que cerca del 65% de la población no debe cancelar copagos para ser atendido en el Hospital o CAMI según lo dispuesto en la Ley 1122, Capítulo IV, artículo 14, literal “g”. No obstante esta situación, de 149 personas que respondieron a la pregunta de afectación de manera afirmativa, 79 de ellas prefiere autorrecetarse ya sea con remedios caseros o medicamentos suministrados por algún farmacéuta. Entre los remedios caseros comúnmente usados se encuentran el agua de manzanilla, limonaria, eucalipto, agua de limón y suero casero; mientras el conjunto de de medicamentos vendidos sin formula médica para tal fin, está compuesto por los siguientes genéricos: amoxicilina, acetaminofén, ibuprofeno, pangetan, metronidazol, entre otros; en conformidad con lo anterior, alrededor de la mitad de la población afectada manifestó haber gastado menos de diez mil pesos para el tratamiento de enfermedades intestinales y de la piel de primer nivel.

En el escenario opuesto, la población que acude con mayor frecuencia al puesto de salud más cercano, es la de Almenares de San Juan con una participación del 43,8%, Girón Campestre (36,4%) seguida de la población de Los Bambúes (35,8%) y Brisas del Campo (25,5%). Uno de los factores que podría incidir en este comportamiento consiste en que aproximadamente la cuarta parte de las personas afectadas la constituye los menores entre 0 y 5 años. Debido a que la morbilidad de los niños en el hogar exige una atención especializada ante cualquier evento que pueda afectar su crecimiento y desarrollo, los padres o personas responsables no se arriesgan a suministrar medicamentos o remedios caseros, en busca de una solución paliativa. Esto sucede tanto en Almenares de San Juan como en Girón Campestre, los cuales también ocupan el primer y segundo lugar, respectivamente, en morbilidad infantil.

Gráfico 7. Tasa de Morbilidad según grupos etarios



Fuente. Elaboración Propia

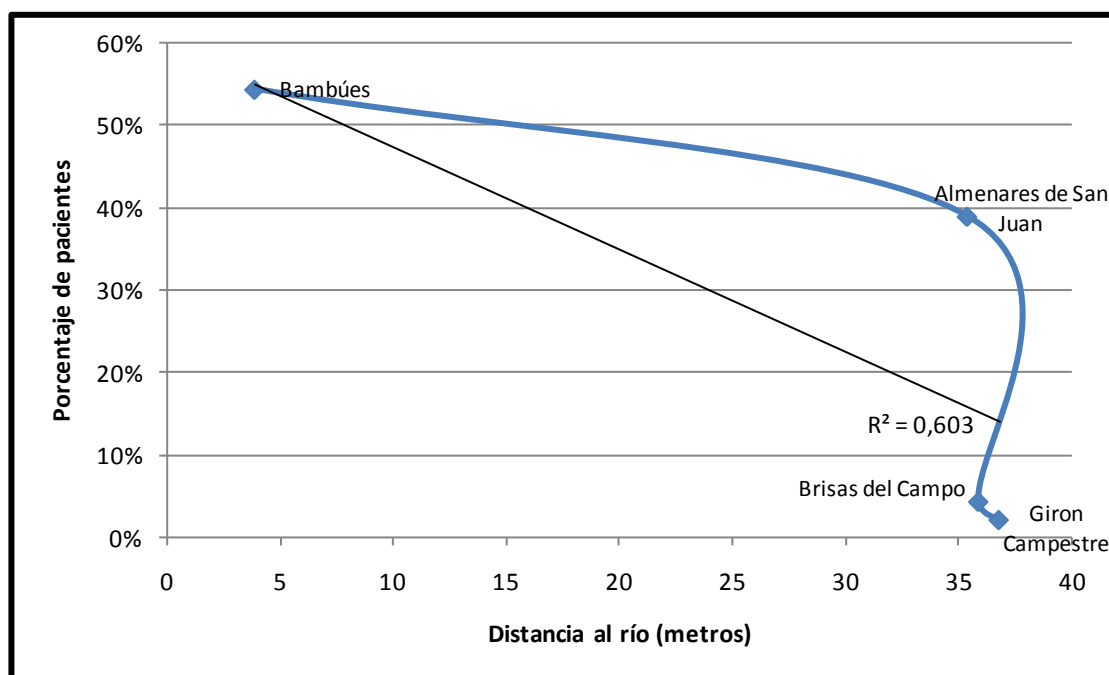
De la misma manera, las personas que afirman verse afectadas por algún grado de morbilidad intestinal o dermatológica, a causa de la contaminación del río constituyen un total de 53,7%. Mientras que los restantes (46,3%), perciben una disminución de su bienestar a causa de los impactos indirectos ocasionados por olores ofensivos provenientes del cauce del río.

Resulta destacable anotar que existe una relación entre el número de incidencias de enfermedades generadas por impactos –tanto directos como indirectos- y la localización de los barrios más cercanos al río. Más específicamente, la distancia de la localidad al río explica en un 60,3 por ciento la modificación de consulta médicas trimestrales por enfermedades intestinales y dermatológicas.

Los Bambúes, ubicado a tan sólo 3,9 metros de distancia del cauce del río, representa el 54,4 por ciento del total de pacientes atendidos por enfermedades intestinales y de la piel, mientras que los habitantes sisbenizados de Almenares de San Juan ubicados a 35,4 metros del río Frío manifestaron en el 39 por ciento de los casos algún grado afectación intestinal

o infecciosa; el 4,4 por ciento obedece a Brisas del campo cuya casa más alejada a la rivera se encuentra a 35,9 metros y, finalmente a 36,8 metros se sitúa Girón Campestre con una morbilidad que representa el 2,2 por ciento del total de pacientes.

Gráfico 8. Relación Morbilidad-Distancia



Fuente. Elaboración Propia

Un elemento de gran utilidad que influyó en la autopercepción de los individuos sobre la contaminación en el río fue su permanencia en el hogar: en un 61,7 por ciento de los casos se consideraron afectados aquellos cuya estancia en la vivienda durante el día fue superior a nueve horas.

Según Villar, director del Centro de Investigaciones Epidemiológicas de la Universidad Industrial de Santander, dentro de las enfermedades consideradas clínicamente como de nivel II, surgidas a partir de cuadros iterativos de diarreas, brotes en la piel y otras infecciones intestinales y bacterianas agudas relacionadas con contaminación hídrica, se encuentran:

Tabla 14. Número de casos por barrio de Enfermedades Segundo Nivel

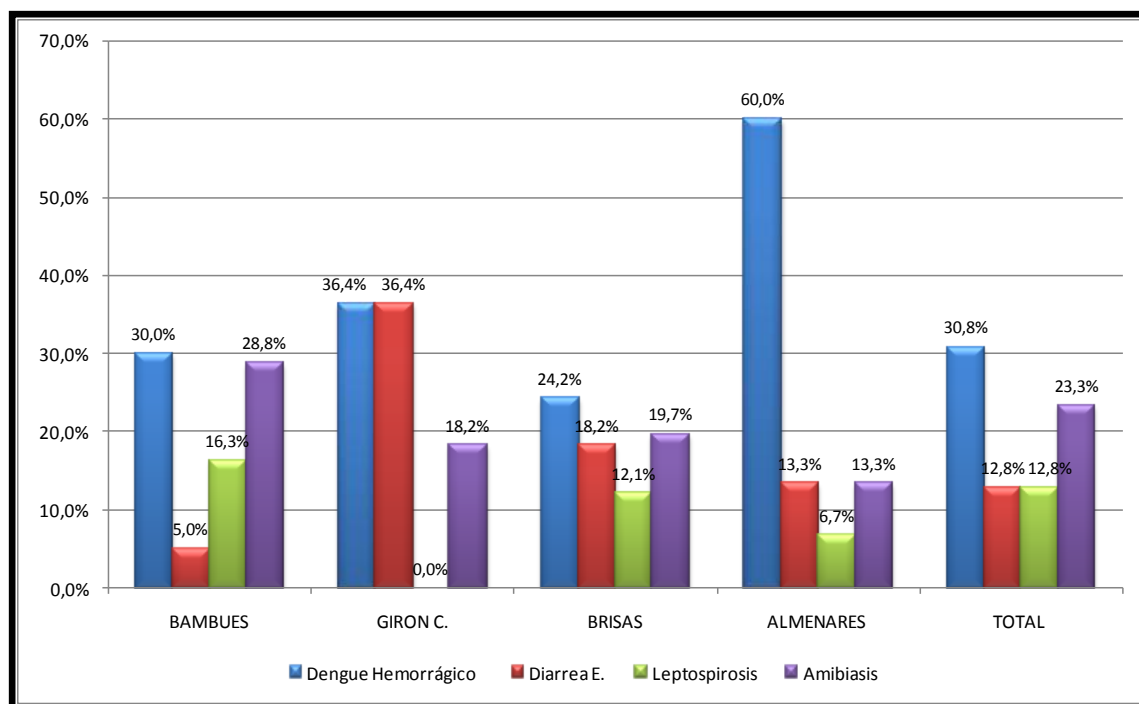
	BAMBUES	GIRON C.	BRISAS	ALMENARES	TOTAL
Leptospirosis	13	0	8	1	22
Giardiasis	3	0	3	0	6
Amibiasis	23	2	13	2	40
Hepatitis Infecciosa	2	0	1	0	3
Disentería Basilar	0	0	2	1	3
Salmonelosis	4	0	3	0	7
Diarrea E.	4	4	12	2	22
Fiebre Paratifoidea	5	1	3	0	9
Tricuriasis	0	0	1	0	1
Dengue Hemorrágico	24	4	16	9	53
Necatoriasis	2	0	4	0	6
TOTAL	80	11	66	15	172

Fuente. Elaboración Propia

Resulta importante destacar el grado de complicación de la enfermedad puesto que este tipo de alteraciones en la salud en al menos uno de los miembros del hogar implica una mayor disminución en el nivel de bienestar total del mismo, expresado a través de tres maneras: parte del ingreso del individuo afectado, y por tanto del hogar, es orientado a la búsqueda de diagnóstico y tratamiento; es necesario que al menos otro miembro de la familia dedique todo o parte de su tiempo al cuidado del enfermo; finalmente, se produce una pérdida de ingresos debido a los días de incapacidad que pierde el individuo afectado.

El número de casos ocurridos en los diferentes grupos poblacionales de referencia hizo posible inferir que la mayor afectación en sintomatologías se encuentra relacionada con dengue hemorrágico, amibiasis, diarrea enteroviral y leptospirosis. Se estima que aproximadamente el 70 por ciento de los afectados padecieron en el 2010 alguna morbilidad de segundo grado, en este sentido, 69 de los visitas al hospital se presentaron por al menos una de las anteriores enfermedades mientras que 38 de ellas fueron por más de dos; de estos últimos, el 71 por ciento pertenece al asentamiento subnormal Los Bambúes y un 27 por ciento a Brisas del Campo.

Gráfico 9. Enfermedades de segundo nivel de mayor prevalencia por barrio



Fuente. Elaboración Propia

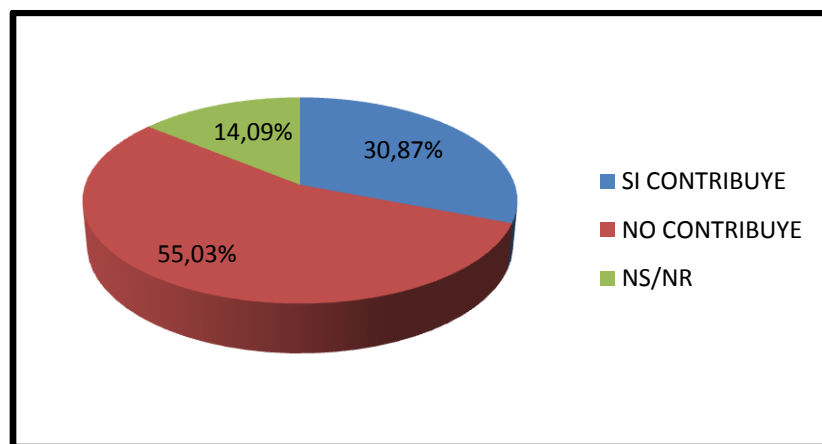
Generalmente, la tendencia que posee la población vulnerable en estas situaciones es la de acudir a un hospital (51.4%) o Clínica (14,02%). Ocasionalmente estas enfermedades no generan la adjudicación de incapacidad médica pero en los casos contrarios, los días promedios de inhabilidad reportados fueron siete.

Finalmente, la encuesta tomó en cuenta la autopercepción de la población objeto de estudio en cuanto a la utilidad de la Planta para la rehabilitación del recurso hídrico y el grado de afectación del precio de su vivienda dada la contaminación producida. Respecto al primer ítem, el 55 por ciento de la personas advirtió que la PTAR no contribuye a la reducción de los impactos o molestias referidas relacionadas con el río. Menos de una tercera parte (30,9%) de ellas indicó la importancia de la Planta en términos de saneamiento, mientras que el 14 por ciento, aunque se calificaba como afectado por el daño ambiental, señalaba no tener el conocimiento suficiente sobre la PTAR para

responder a la pregunta sobre la influencia que podía ejercer la operación de la misma en el área.

Entre los argumentos que justifican la auto percepción negativa de las personas hacia la función ambiental de la Planta, se encuentran: “Hay una mayor reproducción de vectores en el área de estudio”, “No ayuda al ambiente”, “Persisten los malos olores”, “No es posible bañarse en el río sin riesgo”, “Se enferman demasiado los niños”, etc.

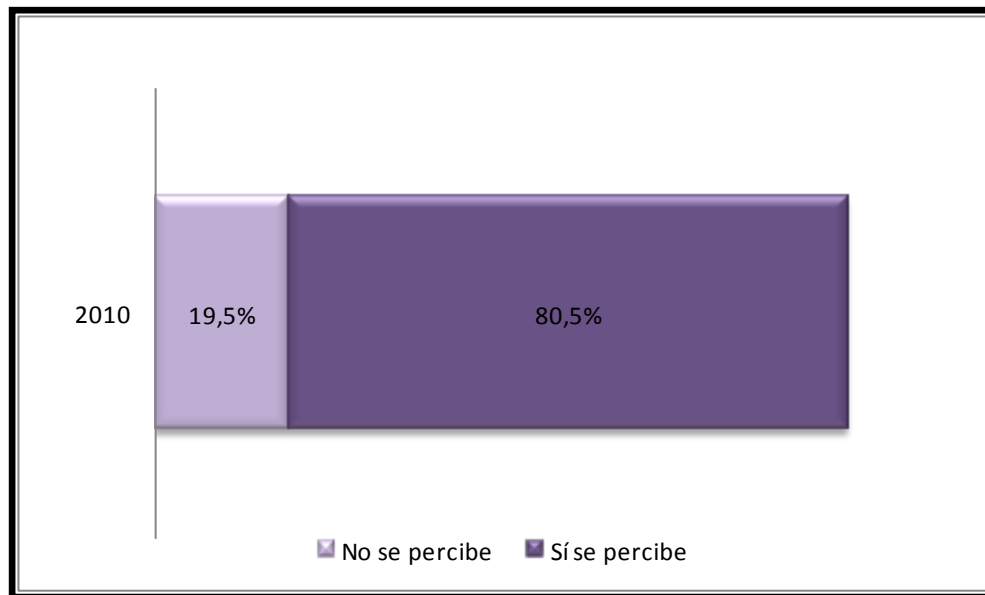
Gráfico 10. Opinión sobre la contribución de la PTAR en la disminución de molestias relacionadas con el río Frío



Fuente: Elaboración propia

En el segundo ítem, que indagaba sobre la valorización de las viviendas en cada sector, ciento veinte de las ciento cuarenta y nueve personas que afirmaron estar afectadas por eventos de segundo nivel asociados al río, aseguraron percibir una disminución en el valor de su inmueble en comparación con otras casas del resto del municipio que no viven en las cercanías del río Frío y a metros del punto de vertimiento de la PTAR.

Gráfico 11. Afectación por eventos de segundo nivel asociados al río.



Fuente: Elaboración propia

5.4 APLICACIÓN DEL MÉTODO DE COSTOS DE MITIGACIÓN (MCM)

Con base en los resultados obtenidos previamente es posible aplicar el MCM. Para ello, debe identificarse claramente, en primer lugar, la característica ambiental a valorar y posteriormente se requiere de observaciones directas de las medidas de mitigación reales que enfrentan las personas, empresas o instituciones para protegerse de los efectos ambientales negativos o riesgos asociados a éstos.

Para este caso, la característica ambiental a valorar es la contaminación hídrica. La observación directa de los agentes involucrados se llevó a cabo por medio de una encuesta de auto percepción, en el caso de las personas cercanas al río Frío y, una estimación de los costos asumidos por el HSJG por consultas hospitalarias y medicamentos producto de la atención de personas sisbenizadas procedentes del área de estudio, afectadas por alguna morbilidad asociada con el agua, ello fue posible a través de la observación de los archivos de consulta y medicamentos (2010) del HSJG.

Luego de determinar los atributos y requisitos elementales para el método, se consideran los costos de efectuar dichas medidas para estimar el Costo en Mitigación Total, así:

$$CMT = f(CS) \quad (1)$$

$$CS = CPr + CPu \quad (2)$$

Donde:

- Costo social (**C_S**): Refleja una medida aproximada del costo, para la sociedad, por daños a la salud de los individuos debido a la influencia directa de la externalidad.
- Costo privado (**C_{Pr}**): Resultante de la suma de las erogaciones particulares efectuadas para tratar la enfermedad producida por la contaminación.
- Costo público (**C_{Pu}**): Indica los desembolsos efectuados por el sector público (HSJG) para la atención y cuidado del paciente. Específicamente lo que respecta a consultas médicas y medicamentos.

$$C_{Pr} = \sum_{i=1}^{n_e} \left[(X_i * C_i) + \left(\frac{\bar{I}_{n_e}}{30} * \bar{d}_{n_e} \right) \right] \quad (3)$$

Donde:

X_i : Individuo i -ésimo que, en la encuesta, respondió afirmativamente a la pregunta de afectación por enfermedades gastrointestinales y de la piel.

C_i : Costo individual por tratamiento de enfermedades gastrointestinales y de la piel reportado por el encuestado i .

n_e : Total de personas que, en la encuesta, respondieron afirmativamente a la pregunta de afectación por enfermedades gastrointestinales y de la piel.

\bar{I}_{n_e} : Ingreso mensual promedio de las personas que, en la encuesta, respondieron afirmativamente a la pregunta de afectación por enfermedades gastrointestinales y de la piel.

\bar{d}_{n_e} : Promedio de días de incapacidad por la morbilidad intestinal o dermatológica padecida.

$$C_{Pu} = \sum_{j=1}^{n_h} [(X_j * CC_j) + (X_j * CM_j)] \quad (4)$$

Donde:

- X_j : Individuo j-ésimo atendido en el HSJG durante el 2010.
- CC_j : Costo de la consulta médica del paciente j.
- CM_j : Costo del medicamento genérico suministrado al paciente j.
- n_h : Total de personas que asistieron al hospital o CAMI por enfermedades gastrointestinales y de la piel.

Reemplazando (3) y (4) en (2) tenemos:

$$C_S = \sum_{i=1}^{n_e} \left[(X_i * C_i) + \left(\frac{\bar{I}_{n_e}}{30} * \bar{d}_{n_e} \right) \right] + \sum_{j=1}^{n_h} [(X_j * CC_j) + (X_j * CM_j)] \quad (5)$$

Calculando, el Costo de Mitigación Total anual ascendería a:

$$C_S = \left[3.952.000 + \left(\frac{617164}{30} * 6,9 \right) \right] + (192.934 + 487.100)$$

(6)

$$CMT \approx C_S = \$4.775.833$$

Para el tema de estudio, el resultado arrojado a través del MCM aparece infravalorado ya que no fue posible contar con la información de otros costos elementales para el cálculo del Costo Social. No se contempló, por ejemplo, los desembolsos del sector público por concepto de hospitalización y otros procedimientos de mayor complejidad, en caso de haber sido necesarios, tampoco se tuvo en cuenta las erogaciones particulares por pago de transporte, bien sea para la búsqueda de atención o para adquirir los productos formulados, la compra de utensilios para la preparación de algunos remedios caseros, y entre los costos indirectos los días de escolaridad y el tiempo de ocio perdidos por acción de la morbilidad.

En el caso de los costos particulares, sólo se considera el rubro que el individuo efectivamente pagó para intentar alguna mejora en su condición de salud una vez percibida la externalidad. Es decir, el costo revelado por el paciente no refleja, en todos los casos, una recuperación total del nivel bienestar perdido o en otras palabras el costo privado mínimo al que se incurre debido al daño causado por el impacto ambiental.

Teniendo en cuenta la renta promedio de la población objetivo, nótese en (6) que el dinero que se disipa o deja de percibirse por los días de incapacidad representa el 23,3 por ciento del ingreso promedio del enfermo. Esta situación resulta relevante si se tiene en cuenta que de los que se consideran afectados cerca del 40 por ciento son trabajadores independientes u ocasionales, mientras que sólo el 16,7 por ciento es empleado remunerado. Lo anterior,

implica que el sector productivo, en el caso de los primeros, no le retribuye los días no laborados al individuo afectado. Sujeto a días de poca ganancia, la posibilidad de pago de seguridad social es eventual, para el individuo cuya actividad laboral no está vinculada a una entidad formal haciendo que el costo asumido en busca del diagnóstico y tratamiento de cualquier enfermedad suela ser más elevado.

6. CONCLUSIONES

El presente trabajo evaluó los el impacto directo de los vertimientos puntuales de la PTAR durante el periodo 2002-2010, basado en su capacidad de restauración del agua residual y la disminución de la morbilidad o molestias relacionadas con el río, presentes en la población sisbenizada de Brisas del Campo, Almenares de San Juan, Girón Campestre y Los Bambúes.

El contraste de los parámetros fisicoquímicos relevantes para determinar la calidad del agua, de los puntos de monitoreo El Pórtico (antes de la Planta) y El Caucho (después de la Planta), posibilitó determinar el impacto directo de los vertimientos puntuales, identificando la existencia de una externalidad negativa en los barrios, elegidos como población objeto de estudio, pertenecientes a la zona. Esta investigación constituye el primer estudio de impactos directos de la contaminación en la microcuenca Río Frío después de la acción de la Planta.

Gracias a los resultados previstos por el proyecto, fue posible identificar una relación de causalidad entre la concentración de carga contaminante en el efluente vertido por la PTAR y el número de consultas medicas por enfermedades relacionadas con el agua. Cuando se incrementa en 10 mg/l la cantidad de carga contaminante en el efluente se estima que el número de consultas médicas se eleva en 1, representado a su vez, la afectación en el nivel de bienestar, de al menos un miembro del hogar, manteniendo los demás factores contantes.

Los resultados del estimador MCO permitió deducir que la forma funcional adecuada, tanto teórica como estadísticamente, es la de tipo lin-lin. Con base en los parámetros del modelo econométrico, el número de consultas médicas trimestrales debe ser mayor a lo hallado en los RIPS suministrados por el hospital. Lo anterior obedece de una parte y fundamentados en el trabajo de campo, a las preferencias de las personas por automedicarse a través de un

farmaceuta o consumir remedios caseros, y de otra parte, la percepción negativa que tienen los habitantes de estos barrios sobre los servicios de salud prestados por las entidades municipales.

El modelo empírico, además, demostró que a pesar de los altos rubros invertidos por la EMPAS para disminuir la carga contaminante del efluente, no se observa una disminución relevante en la tasa de morbilidad por enfermedades intestinales y dermatológicas en el área de estudio, sin embargo, en el momento de la estimación del modelo el *t - student* de esta variable exógena resulta altamente significativa.

Se determinó a través del análisis de los métodos de valoración económica basados en costos, que la mejor metodología para el caso de estudio es la de Costos de Mitigación, encontrando con su implementación, que los costos anuales a causa de la externalidad negativa fue de aproximadamente de \$4.775.833 en el año 2010. Este rubro es importante si se tiene cuenta que en los dos últimos años la proporción de personas enfermas por los eventos mencionados en el área de estudio se incrementó cerca de un punto porcentual, además, aunque la tasa de incidencia es baja posee un comportamiento creciente desde el primer año.

BIBLIOGRAFÍA

ALCALDÍA DE GIRÓN. Plan de Desarrollo: Girón monumento nacional: la obra continua entre todos 2008-2011, [en línea] Girón. Disponible en internet: http://giron-santander.gov.co/apc-aa-files/64363264663566326266363830396364/PLAN_DE_DESARROLLO_11_dic_2008.pdf

------. Plan de Ordenamiento Territorial de San Juan de Girón 2000-2009. Diagnóstico. [en línea]. p.116. Disponible en: «http://giron-santander.gov.co/apc-aa-files/64363264663566326266363830396364/FISICO_BIOTICO_ACTUALIZADO.pdf».

ÁLVAREZ, Gilberto. Calidad de agua. Dirección de Salud Pública. Ministerio de la Protección Social. Bogotá. 2008, p. 13.

APARICIO, Carlos Julio, Empresa de Alcantarillado de Santander, Bucaramanga Colombia, Agosto de 2011.

ASOCIACIÓN DE FABRICANTES DE TUBOS DE CONCRETO (ATCO). Introducción e historia de la tubería de concreto. p. 7. Disponible en: www.atco.org.mx/formatos/introduccionh.pdf

BANCO DE LA REPUBLICA. Informe de la Junta Directiva al Congreso de la República. Bogotá: BanRep: Marzo de 2011, p. 49. ISSN - 1657 - 799X.

BARZEV, Radoslav. Guía metodológica de valoración económica de bienes, servicios e impactos ambientales. [En línea]. En: Corredor Biológico Mesoamericano. Serie Técnica 04. Nicaragua. Disponible en: http://xsei.centrogeo.org.mx/vedet/biblioteca/val_eco_deg/VE_Valoraci%F3n%20CBM.pdf

BAUMOL, W.J. & OATES W.E. The Theory of Environmental Policy. [En línea]. Ed. Prentice Hall. Nueva Jersey, 1975. Disponible en: <http://books.google.com/books/about/The_theory_of_environmental_policy.html?id=F4->.

BONILLA, Solhanlle. Costos defensivos derivados de la contaminación del agua en área rural, cuenca media del río Yaque del norte, República Dominicana. En: seminario internacional bosques tropicales y desarrollo. Bosques naturales y desarrollo. Medellín, Colombia. NOVIEMBRE 18-21 DE 2008-2000, 113 p.

CDMB. Acuerdo de Consejo Directivo No 1059. Bucaramanga, 2006, p.10. [en línea]. Disponible en:
« <http://www.cdm.gov.co/gdi/acuerdos/a6a0c8cead294c593bd3.pdf> »

------. Informe del estado de los recursos naturales primer semestre de 2010. Subdirección de ordenamiento y planificación integral del territorio, SOPIT. p. 73.

------. Informe Histórico de Calidad del Agua de la Red de Monitoreo de Calidad de Agua 2000-2010. En: Subdirección de Ordenamiento Integral del Territorio. [en línea]. p.5. Disponible en:
«<http://www.cdm.gov.co/web/index.php/monitoreo-ambiental-infomenu3-456/red-de-monitoreo-del-agua-infomenu3-458/234-calidad-del-agua.html>».

------. Informe Histórico de Calidad del Agua de la Red de Monitoreo de Calidad de Agua 2000-2006. En: Subdirección de Ordenamiento Integral del Territorio. [en línea]. p. Disponible en:
«<http://www.cdm.gov.co/web/index.php/monitoreo-ambiental-infomenu3-456/red-de-monitoreo-del-agua-infomenu3-458/234-calidad-del-agua.html>».

------. Normatividad Nacional. En: Subdirección de Ordenamiento Integral del Territorio. [en línea]. p.10 Disponible en:
«<http://www.cdm.gov.co/web/index.php/normatividad-infomenu-235/464-normatividad-nacional-2.html>»

------. Plan de Ordenamiento y Manejo Ambiental Subcuenca Río de Oro. [en línea]. 2002, p. Disponible en:
«<http://www.cdm.gov.co/ciaga/documentosciaga4/EstudioAmbientaSubriodeOro.pdf>»

CHANG, Man Yu. La economía ambiental. [En línea]. Capítulo 6. p. Disponible en:
«http://www.estudiosdeldesarrollo.net/coleccion_america_latina/sustentabilidad/Sustentabilidad9.pd»

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 99 (22, Diciembre, 1993). Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 1993. no. 41146. Disponible en: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=297>

CONIL, Philippe. Tratamiento anaerobio de las aguas residuales en Colombia. Histórico, posibilidades, limitaciones situación actual y perspectivas. [en línea]. Mayo, 1996. p. Disponible en: «www.bio-tec.net/archivos/publicaciones/cb1-c77.doc»

EMPAS. Plan Estratégico de Gestión de EMPAS S.A. 2011 – 2015. [En línea]. p. 94. Disponible en: «empas.gov.co/component/.../135-plan-estrategico-2011-2015.html».

------. Reseña histórica de EMPAS S.A. [en línea]. p. Disponible en: «<http://www.empas.gov.co>»

FERNÁNDEZ, Alicia y DU MORTIER, Cecile. Evaluación de la condición del agua para consumo humano en Latinoamérica. Centro de Estudios Transdisciplinarios del Agua, Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad de Buenos Aires, 2005, p. 3.

IDELOVITCH, E., y K. Ringskog, “Directions in Development: Wastewater Treatment in Latin America, Old & New Options,” World Bank, Washington, D.C., August 1997. Citado por: REYNOLDS, Kelly. Tratamiento de Aguas Residuales en Latinoamérica: Identificación del Problema. 2002, p. 4.

LOPEZ Oliveros, Isnardo . Valoración Económica De La Contaminación Por Olores En El Área De Influencia Del Relleno Sanitario El Carrasco: Una Aplicación De La Metodología De Precios Hedónicos. Trabajo de grado Economista. Bucaramanga, Santander. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ciencias Humanas. Escuela de Economía. 2006. p. 70.

MARTINEZ, Alier & ROCA, Jusmet (2000). Economía ecológica y política ambiental. 1 era Edición. p. 420. México. Ed. Fondo de cultura Económica. ISSN 968-5998-8.

MENDIETA, Juan Carlos. Economía Ambiental. En: Programa de Magíster en Economía del Medio Ambiente y de los recursos naturales. [En línea]. Bogotá,

2000; p. Disponible en:
<[http://www.infoiarna.org.gt/media/file/areas/economia/documentos/interna/\(2\) economia ambiental- mendieta.PDF](http://www.infoiarna.org.gt/media/file/areas/economia/documentos/interna/(2) economia ambiental- mendieta.PDF)>.

MENESES, Alexander y HERNÁNDEZ Eudes. Identificación de emisiones directas e indirectas de GEI en el sector tratamiento y disposición de aguas residuales: bases para la formulación de proyectos MDL en PTAR. En: Bistua, 2004. vol. 2. no. 001. p. 60-69.

METCALF, Leonard y EDDY, Harrison. Tratamiento y depuración de aguas residuales. España: Labor S.A. 1977, p. 744.

MÚNERA, Juan David y CORREA, Francisco. Valoración económica de costos ambientales: marco conceptual y métodos de estimación. [En línea]. Medellín. Semestre Económico [enero-junio, 2004] vol. 7, núm. 13 Universidad de Medellín. Colombia. p. 159-193. Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/1650/165013657006.pdf>

NAVARRO, Alixon. Siempre hay un motivo para salir adelante. En: Vanguardia Liberal. Bucaramanga. Junio, 2011.

NOGUEIRA, Ángel. Colombia: reflexiones desde la otra orilla. Bogotá: Siglo del hombre. 2003, p. 243 p.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA EDUCACIÓN, LA CIENCIA Y LA CULTURA. Programa Mundial de evaluación de los Recursos Hídricos para el desarrollo, el fortalecimiento de capacidades y el medioambiente. [En línea]. Disponible en: «http://www.unesco.org/water/wwap/milestones/index_es.shtml».

REYNOLDS, Kelly. Tratamiento de Aguas Residuales en Latinoamérica: Identificación del Problema. 2002, p. 192

RODRÍGUEZ, Guillermo. Primer taller nacional sobre tecnología anaeróbica para aguas residuales. Cali: UIS, p. 1. 1984.

RUIZ, Pablo. Costos de mitigación de gases de efecto invernadero: Canadá y México. [Septiembre-Octubre 2009] 2009, pp. 67-77.

SAAVEDRA Diana, Empresa de Alcantarillado de Santander, Bucaramanga, Colombia, Observación inédita, Agosto de 2011.

UNICEF. La infancia, el agua y el saneamiento básico en los planes de desarrollo departamental (2004-2007). Colombia, p.162

URIBE, Ludwing. Ampliación y modernización Planta de tratamiento de aguas residuales rio Frío Girón – Santander. Medellín: 2009, p. 28.

VALDEZ, Enrique y VÁSQUEZ Alba. Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales. México: Fundación ICA. 2003, p. 17.

VALERY, Yolanda. El inodoro: del lujo a lo inimaginable. [Publicado 26 de Febrero de 2004] Disponible en: http://news.bbc.co.uk/hi/spanish/specials/newsid_3497000/3497555.stm

WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT. Our Common Future Oxford. Citado por: ROJAS, Carlos Alberto. Desarrollo Sostenible una Visión Crítica. Lima. 1997; p. 27. Disponible en: «<http://www.bvsde.paho.org/eswww/fulltext/repind68/roj/roj.html> ».

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO) AND UNITED NATIONS CHILDREN'S FUND (UNICEF). Informe sobre la Evaluación Mundial del Abastecimiento de Agua y el Saneamiento en 2000. Ginebra. 2000, p. 87.

ANEXOS

Anexo 1. Índice de Escasez considerando vertimientos 2007

MICROCUEENCA	Oferta total No. 2 [m ³ /año]	Oferta hídrica Neta [m ³ /año]	Demanda hídrica Total [m ³ /año]	Índice de Escasez %	Categoría del Índice
LATO	17.723.232	8.861.616	146.144	1.6	Bajo < 10%
ORO ALTO	58.026.240	29.013.120	12.696.556	43.76	Alto > 40%
RIO FRIO	28.840.887	14.420.443	20.027.475	138.8	Alto > 40%
ORO MEDIO	27.215.568	13.607.784	10.673.560	78.9	Alto > 40%
ORO BAJO	9.911.884	4.955.942	1.522.108	30.7	Medio 20 a 40 %
TOTAL	141.717.811	70.858.905	45.065.743	63.6	Alto > 40%

Fuente: Calculo Grupo POAT - CDMB

Anexo 2. Tipo de agua según concentración de DBO₅

Agua Pura.....	0 - 20 mg/lt
Agua Levemente Contaminada.....	20 - 100 mg/lt
Agua Medianamente Contaminada	100 - 500 mg/lt
Agua Muy Contaminada	500 - 3000 mg/lt
Agua Extremadamente Contaminada	3000 - 15000 mg/lt

Fuente: Observatorio Ambiental de Bogotá (www.oab.ambientebogota.gov.co)

Anexo 3. Contaminación hídrica: Fundamento normativo

Ley 99 de 1993
Decreto 901 de 1997
Decreto 3100 de 2003
Resolución 1433 de 2004
Decreto 3440 de 2004
Ley 1151 de 2007
Decreto 3930 de 2010
Sentencia T-851 de 2010

Fuente: .MINAMBIENTE

Anexo 4. Características de Operación y Diseño de la PTAR Rio Frío

ETAPAS DE TRATAMIENTO	ESTRUCTURA		CARACTERÍSTICAS	
	PRELIMINAR	Cribado grueso		Espacio libre entre barras 5 cm.
Cribado fino			Espacio libre entre barras 6 mm.	
Desarenador			Espacio libre entre barras 3 mm.	
PRIMARIO	Reactores UASB		Número de Unidades: 4 Superficie 800 m ² / tanque Volumen 3300 m ³ / tanque Tiempo de retención 6 horas	
SECUNDARIO	Laguna Facultativa		Número de Unidades: 1 Superficie 2.7 ha / Laguna Profundidad: 1.5m a 2.0 m Volumen 42000 m ³ / Laguna Tiempo de retención: 30 horas Número de baffles divisorios: 3	
CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN Y DISEÑO				
PARÁMETROS		UNIDADES	VALORES	
CAUDAL DE DISEÑO		l/s	720	
POBLACIÓN BENEFICIADA		Habitantes	320.000	
CAUDAL TRATADO PROMEDIO		m ³ / día	42.000	
PRODUCCIÓN DE LODO DESHIDRATADO AL 90%		m ³ / mes	150	
PRODUCCIÓN DE BIOGAS		m ³ / día	7.400	
INDICADORES DE EFICIENCIA				
PARÁMETROS	AFLUENTE	EFLUENTE	% REMOCIÓN	
DBO (mg/L)	280-370	45-55	80-88	
DQO (mg/L)	500-700	140-200	70-75	
SST (mg/L)	220-300	30-40	82-90	

Fuente: EMPAS

Anexo 5. Resultados del Estimador MCO

Included observations: 35 after adjusting endpoints Convergence achieved after 20 iterations				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
CDS	0.101946	0.022253	4.581150	0.0001
COSTOS	-2.33E-09	5.79E-10	-4.023967	0.0004
GE	-8.538003	2.713167	-3.146877	0.0037
C	-12.06618	4.772398	-2.528327	0.0170
AR(1)	0.517164	0.182404	2.835265	0.0081
R-squared	0.680852	Mean dependent var		8.057143
Adjusted R-squared	0.638299	S.D. dependent var		3.645649
S.E. of regression	2.192552	Akaike info criterion		4.539573
Sum squared resid	144.2185	Schwarz criterion		4.761765
Log likelihood	-74.44253	F-statistic		16.00005
Durbin-Watson stat	1.942078	Prob(F-statistic)		0.000000

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 6. Estimación Consultas Promedio según MCO

	CDS	Costos	GE	MI	M'1
2002 (1)	210	1.087.651.716	0	5	7
2002 (2)	218	1.047.605.860	0	7	8
2002 (3)	204	1.104.930.365	0	4	7
2002 (4)	230	1.080.062.647	0	9	9
2003 (1)	191	708.234.658	0	7	6
2003 (2)	206	700.645.589	0	7	8
2003 (3)	187	725.513.307	0	6	6
2003 (4)	218	668.188.802	0	7	9
2004 (1)	205	1.390.986.550	0	6	6
2004 (2)	209	1.296.197.481	0	7	7
2004 (3)	213	1.206.740.694	0	8	7
2004 (4)	214	1.290.865.199	0	9	7
2005 (1)	212	818.030.190	0	7	8
2005 (2)	229	772.341.121	0	8	10
2005 (3)	236	672.584.334	0	8	11
2005 (4)	210	826.408.839	0	11	8
2006 (1)	208	2.363.166.669	0	7	4
2006 (2)	267	2.315.029.255	0	12	10
2006 (3)	247	2.352.872.822	0	4	8
2006 (4)	216	2.380.422.542	0	1	5
2007 (1)	298	4.419.406	1	7	10
2007 (2)	301	4.254.504	1	9	11
2007 (3)	298	4.332.488	1	7	10
2007 (4)	279	4.335.466	1	6	8
2008 (1)	275	21.444.774	1	4	8
2008 (2)	289	21.374.601	1	10	9
2008 (3)	287	21.393.884	1	8	9
2008 (4)	290	21.285.145	1	13	9
2009 (1)	348	1.097.499.843	1	17	13
2009 (2)	350	1.097.476.038	1	18	13
2009 (3)	343	1.097.522.365	1	13	12
2009 (4)	346	1.097.501.126	1	13	13
2010 (1)	344	3.388.142.292	1	8	7
2010 (2)	361	3.349.746.634	1	7	9
2010 (3)	320	3.427.366.151	1	2	5
2010 (4)	350	3.388.418.359	1	5	8

Fuente: Elaboración propia

Anexo 7. Formato de la Encuesta

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE ECONOMÍA Y ADMINISTRACIÓN

ENCUESTA CONSIDERACIONES DE SALUD PÚBLICA Y SOSTENIBILIDAD TERRITORIAL.

Nombre del encuestador: _____

No. de encuesta: _____ Fecha: _____

BUENOS DÍAS/BUENAS TARDEAS: Somos investigadores de la Universidad Industrial de Santander (UIS) y estamos aplicando una encuesta relacionada con el tratamiento de aguas residuales y el vertimiento de estas cuando se realizan directamente al cauce del río, en este caso después del tratamiento que se hace en la PTAR RÍO FRÍO en el punto de monitoreo "el caucho". Este ejercicio hace parte de una investigación que está realizando la Universidad Industrial de Santander titulada: Valoración Económico-Ambiental de los enjuenes dispuestos por la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Río Frío en la microcuenca Río Frío. Consideraciones de Salud Pública y Sostenibilidad Territorial. Esta encuesta tiene como objetivo la consecución de información que permita llevar a cabo un proyecto de valoración económica. La información que usted nos proporcione es completamente anónima y confidencial. Su nombre no será solicitado.

8. Número de personas que residen en la vivienda: _____
/ /

Los vertimientos de agua residual sobre el río Frío genera alteraciones en los ecosistemas, en el hombre por ejemplo, repercute sobre las condiciones de salud de la población aledaña al cauce del río (Los Baniobos, Cirón Campesite, Alimantares, Brisas del campo). Tal repercusión también se hace evidente sobre la economía de las familias, los servicios de salud y la sociedad en general.

9. ¿Considera que su calidad de vida o la de su familiares se ha visto afectada por la cercanía al Río Frío?
a. No _____ (termina la encuesta) b. Sí _____

10. Mencione las veces que, en promedio, los siguientes eventos, relacionados con el Río, han afectado su calidad de vida en durante el año 2010:
a. () Oloros b. () Enfermedades Intestinales c. () Enfermedades de la piel d. () Otras(s) enfermedad(es) o evento(s) ¿Cuáles? _____

11. En lo corrido del año 2010 y de acuerdo a la edad, ¿cuántos miembros de la familia se han visto afectados por enfermedades intestinales y de la piel?

Entre 0 y 5 años	_____
Entre 6 y 15 años	_____
Entre 16 y 25 años	_____
Entre 26 y 35 años	_____
Entre 36 y 50 años	_____
Mayores de 50	_____

12. Usted, ¿cuánto tiempo permanecen en el lugar de residencia durante el día (de 6:00 am a 8:00 pm)?
a. () Entre 1 y 4 horas b. () Entre 5 y 8 horas c. () Más de 9

13. Si la enfermedad de primer nivel (diarrea, dengue clásico, brotes en la piel, etc.) usted:
a. () Consume hierbas o remedios caseros b. () Va a una droguería para autorrecetarse
c. () Asiste al Hospital. (Pregunta 16) d. () Asiste a una Clínica.
(Pregunta 16) ¿A cuál? _____ ¿A cuál? _____

1. Barrio: _____ SISBEN: 1 _____ 2 _____ 3 _____

2. Dirección: _____

3. Estrato: _____

4. Sexo: a) () Femenino b) () Masculino / /

5. Edad: _____

6. Relación del encuestado con el jefe del hogar
a. () Es el jefe b. () Conyuge c. () Hijo o hija d. () Padre o madre
e. () Otro familiar cercano f. () Otro, especifique _____
7. Actividad a la que se dedica el encuestado. (Puede marcar más de una)
a. () Trabajador remunerado b. () Trabajador por cuenta propia c. () Patrono
d. () Trabajador ocasional e. () Ama de casa t. () Estudiante
g. () Pensionado o rentista h. () Otro, especifique _____

1

Anexo 7 (continuación). Formato de la Encuesta

14. Cuando se autorreceta, ¿qué medicamentos compra normalmente o qué remedios caseros utiliza?
 a. _____
 b. _____

15. De acuerdo a su respuesta en la pregunta anterior ¿Cuanto, en promedio, cree usted que ha gastado en la compra de medicamentos o remedios caseros?
 a. () Menos de Diez Mil Pesos b. () Entre Diez Mil y Veinte Mil c. () Entre Veinte Mil y Treinta Mil
 d. () Más de Treinta Mil ¿Cuanto? _____ \$ /

16. ¿Cuántas veces la enfermedad o el evento, relacionado con el río, se evidenció en lo corrido de año? _____

17. Señale con una equis (X) cuál de las siguientes enfermedades, relacionadas con su cercanía al río pasado, usad en el 2010? Para explicar la identificación de la enfermedad se presenta a continuación sus síntomas más comunes.

Diagnóstico	Síntomas
Leptospirosis	Fiebre, escalofríos, dolor de cabeza frontal intenso, náusea, vómito, dolor muscular en las pantorrillas y abdomen.
Giardiasis	Fatiga (peso), heces blandas y evictos con olor fétido. Dura más de una semana pero la diarrea por lo general desaparece.
Amibiasis	Diarrea mucosa y sanguinolenta, fiebre, escalofríos, estreñimiento de carácter intermitente, dolor de cabeza, dolor abdominal de tipo espasmodico y borborigos.
Hepatitis infecciosa	Fiebre, pérdida de apetito, malestar general con cansancio, náuseas y molestias de estómago, color amarillento de la piel y del ojo, orina de color oscuro hasta de un granel, fiebre en niños pequeños (comas y convulsiones).
Disenteria Bacilar	Dura de 1 a 2 semanas, tras las que aparecen de forma gradual fiebre, dolor de cabeza y articulaciones, estreñimiento, olor abdominal y falta
Salmonelosis	

18. Si ha sufrido de las anteriores enfermedades consideradas como segundo o tercer nivel (moderadamente grave o muy grave), usad:
 a. () Asista al hospital (Preguntas 18)
 b. () Paga médico particular. (Preguntas 18) Valor consulta _____ \$ /
 c. () Va a una droguería para autorrecetarse
 19. ¿Cuanto, en promedio, cree usted que ha gastado en el tratamiento sugerido?
 a. () Menos de Diez Mil b. () Entre Diez Mil y Veinte Mil c. () Más de Veinte Mil y Treinta Mil
 d. () Más de Treinta Mil ¿Cuanto? _____ \$ /

20. Durante la enfermedad, ¿el médico le suministró incapacidad médica?
 a. () No (Pregunta 20) b. () Si ¿Cuántos días? _____ /

21. Considerando los ingresos del grupo familiar, ¿cuál es el ingreso mensual promedio?
 5. _____ \$

22. De acuerdo a su causal de vida y a su entorno, ¿considera que la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Río Frio contribuye a la disminución de los impactos o molestias mencionadas razonadas con el río?
 4

Enfermedad	Síntomas
Diarrea Enteroviral	Sangre con mucus y pus. Habitualmente son de alta frecuencia y de escaso volumen y se acompañan de pujo y sensación de tener ganas de defecar. Además tienen fiebre y olor abdominal.
Fiebre parasitofeá	Cebillado, período de apatía, dolor de cabeza y estreñimiento (se mantienen durante unos 5 días, hasta que inicia fiebre de hasta 40° C). Pérdida de la conciencia, aparición de lesiones rojas en la piel que pueden durar hasta 14 días.
Tricuriasis	Diarrea con sangre, anemia, incomodidad fecal (vaciar el recto), aparición de heces a regañar que vaciarse el recto se crea o coagula a través de la abertura anal.
Dengue Clásico o Hemorrágico	Fiebre alta, dolores de cabeza, dolor en las articulaciones y los músculos, vómitos y brotes. Cuando es hemorrágico: sangrado en la nariz, las encías o debajo de la piel.
Conjuntivitis	Enrojecimiento, ardor, lagrimeo y enrojecimiento de los ojos.
Necatoriasis	Síntoma en pies, bollos, glóbulos, manos y brazos. Picazón y formación de costras.

18. Si ha sufrido de las anteriores enfermedades consideradas como segundo o tercer nivel (moderadamente grave o muy grave), usad:
 a. () Asista al hospital (Preguntas 18)
 b. () Paga médico particular. (Preguntas 18) Valor consulta _____ \$ /
 c. () Va a una droguería para autorrecetarse
 19. ¿Cuanto, en promedio, cree usted que ha gastado en el tratamiento sugerido?
 a. () Menos de Diez Mil b. () Entre Diez Mil y Veinte Mil c. () Más de Veinte Mil y Treinta Mil
 d. () Más de Treinta Mil ¿Cuanto? _____ \$ /

20. Durante la enfermedad, ¿el médico le suministró incapacidad médica?
 a. () No (Pregunta 20) b. () Si ¿Cuántos días? _____ /

21. Considerando los ingresos del grupo familiar, ¿cuál es el ingreso mensual promedio?
 5. _____ \$

22. De acuerdo a su causal de vida y a su entorno, ¿considera que la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Río Frio contribuye a la disminución de los impactos o molestias mencionadas razonadas con el río?
 4

Anexo 7 (continuación). Formato de la Encuesta

a. () No b. () Si

23. ¿Por qué?

24. Considera que la valorización de su vivienda también se ha visto afectada por la cercanía al río?

a. Si () b. No ()

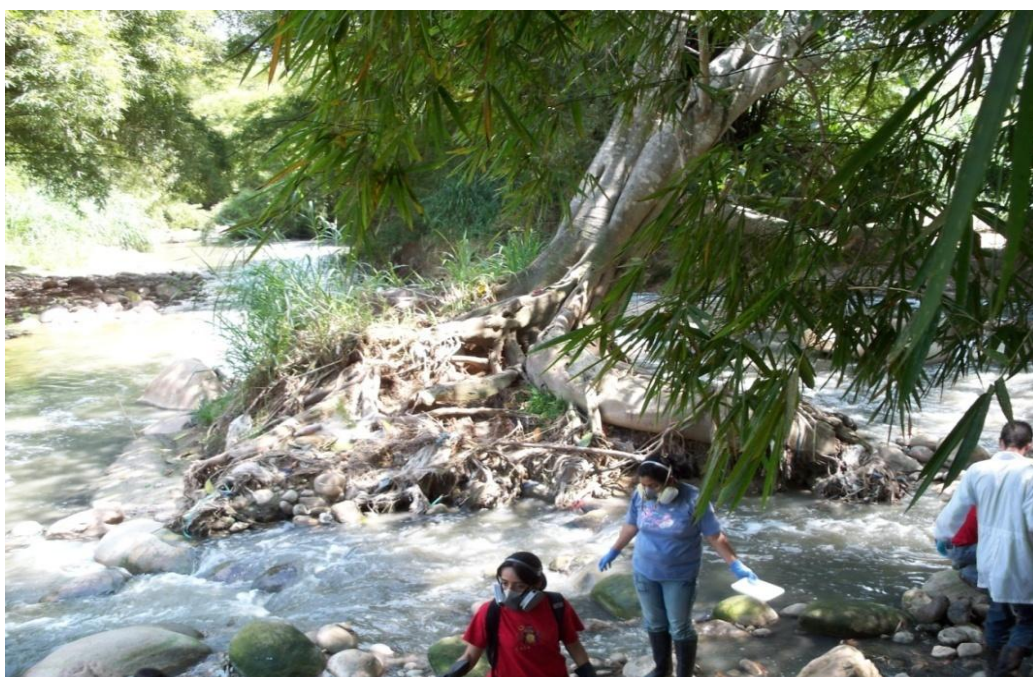
Fuente: Elaboración propia

Anexo 8. Panorámica PTAR Río Frío



Fuente: EMPAS

Anexo 9. Toma de muestras en el río Frío después de la PTAR.



Fuente: Facultad de Química Ambiental, Universidad Santo Tomás