

**EVALUACIÓN ECONÓMICA DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES EN LA CIUDAD DE GUADALAJARA DE BUGA**

GLORIA STEFANY MACA MILLÁN

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE CIENCIAS SOCIALES Y ECONOMICAS
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA**

SANTIAGO DE CALI

2014

**EVALUACIÓN ECONÓMICA DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES EN LA CIUDAD DE GUADALAJARA DE BUGA**

GLORIA STEFANY MACA MILLÁN

**Trabajo de Grado para optar el título de
ECONOMISTA**

Director de Trabajo de Grado:

FABIO ALBERTO ARIAS ARBELAEZ

**Ph.D en Desarrollo Sustentable
Universidad de Brasilia,**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE CIENCIAS SOCIALES Y ECONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE ECONOMÍA**

**SANTIAGO DE CALI
2014**

CONTENIDO

RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN.....	2
1. SITUACION ACTUAL DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN COLOMBIA.....	4
2. GUADALAJARA DE BUGA.	8
3. SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DESCENTRALIZADOS ...	13
3.1 CLASIFICACIÓN Y CARACTERISTICAS	15
3.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DESCENTRALIZADOS	17
4. EVALUACIÓN ECONÓMICA DE STAR.....	20
4.1 METODO DE MINIMO COSTO.....	25
4.2 SELECCIÓN DE STAR EN LA CIUDAD DE BUGA.....	27
4.2.1 ESQUEMA TECNOLÓGICO	29
4.3 CÁLCULO DE COSTOS PARA EL STAR EN BUGA	31
4.3.1 COSTOS DEL STAR DEL MUNICIPIO DE EL CERRITO.....	32
4.3.2 COSTOS DEL STAR CENTRALIZADO	36
4.3.3 COSTOS DEL STAR DESCENTRALIZADO	39
4.3.4 COSTOS TOTALES DE LAS ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA CIUDAD DE BUGA.....	42
4.4 DESCUENTO DE FLUJO DE COSTOS	44
5. CONCLUSIONES	48

RESUMEN

Actualmente existe una problemática relacionada con la disminución de los caudales de los ríos y la contaminación presente en los mismos. Alrededor de la contaminación de las fuentes hídricas se ha generado en Colombia toda una serie de normas y de recomendaciones relacionadas con la implementación de Sistemas de Tratamiento de Aguas residuales que disminuyan el impacto de los vertimientos en los ríos. En el caso del río Cauca, se ha puesto especial atención en los municipios que realizan vertimientos de aguas residuales sin ningún tipo de tratamiento a este o a tributarios del mismo. En la Ciudad de Buga ubicada en el departamento del valle del Cauca, se ha intentado establecer una planta de tratamiento que disminuya el impacto de las descargas de aguas residuales. Sin embargo, investigaciones han informado que la posibilidad de establecer Sistemas de tratamiento descentralizados, que para el caso de Buga consistiría en dos plantas de tratamiento, puede traer mayores beneficios y menores costos.

En este sentido, el objetivo del presente trabajo consiste en determinar entre dos alternativas de tratamiento para aguas residuales para la ciudad de Buga cual es más viable económicamente. Para ello se realiza un análisis de mínimo costo debido a que los impactos en la calidad del río Cauca son iguales en ambas alternativas. Por medio de la aplicación de un análisis de sensibilidad se encuentra que para diferentes tasas de descuento la jerarquización de las alternativas cambia. Finalmente se concluye que la alternativa descentralizada consistente en dos Plantas de tratamiento es la más conveniente para la ciudad de Buga debido a que sus costos iniciales son menores que la alternativa centralizada.

Palabras claves: Contaminación Hídrica, Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales, Evaluación Económica, Tasa Social de Descuento, Mínimo Costo.

INTRODUCCIÓN

La contaminación de los cuerpos hídricos en el mundo es alarmante, el impacto del vertimiento de aguas residuales en los ríos, la deforestación y la explotación minera han deteriorado notablemente la calidad de las aguas. La situación de contaminación se torna aún más alarmante al encontrar que los caudales de los ríos disminuyen a medida que pasa el tiempo. La necesidad de encontrar nuevas fuentes de agua para abastecer la creciente población mundial y la disminución de la oferta hídrica disponible para consumo, ha conllevado a que la sociedad derive el problema de contaminación hídrica en la construcción de Sistemas de Tratamiento de Aguas residuales (STAR).

En Colombia la situación de contaminación también es alarmante, la mayoría de los ríos tienen agua de mala calidad. El río Cauca es uno de los más contaminados en Colombia, este río y sus afluentes reciben la mayor carga de contaminación por aguas residuales agropecuarias, municipales e industriales en los departamentos que atraviesa. El río Cauca en su recorrido por el país, pasa por la ciudad de Buga ubicada en el departamento del Valle del Cauca. Esta ciudad actualmente no posee un STAR, sus aguas residuales son transportadas a través de 3 zanjones depositándose finalmente en el río Guadalajara y la laguna el Conchal. Debido a que el colector Tiacuante recoge la mayor parte de las aguas residuales de la ciudad, es el río Cauca el que termina recibiendo la mayor parte de las aguas residuales. Lo anterior es debido a que el río Guadalajara al cual desemboca el colector Tiacuante es tributario del río Cauca.

En Buga a partir de la implementación en su Plan de Ordenamiento Territorial (POT) 2000-2012 se estableció la tarea de realizar un programa de saneamiento que disminuyera el impacto de las descargas de aguas residuales. Esta tarea fue asignada a las empresas de servicios de acueducto y alcantarillado. A raíz de esta normativa, en los tres planes de desarrollo que se han presentado hasta el momento en Buga se ha formulado el diagnóstico e implementación de un proyecto de construcción de un STAR. Se ha dilucidado que el incumplimiento en los Planes de desarrollo con respecto a la implementación de un STAR se debe principalmente a las dificultades en la consecución del terreno para la construcción.

A pesar del incumplimiento en la ejecución de los proyectos, es claro que hasta la fecha el STAR consiste en la construcción de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) ubicada en el lado norte de la Ciudad, que sirva para tratar tanto la zona norte como la sur y de expansión. La escogencia de este tipo de sistema corresponde a los sistemas tradicionales de tratamiento o sistemas centralizados, donde solo una planta de tratamiento presta el servicio para toda la ciudad. Esta situación lleva a plantearse otras potencialidades que se pudieron presentar en el proceso de decisión, las cuales consisten en la construcción y funcionamiento de más de una PTAR en la Ciudad. Estos sistemas alternativos corresponden a los STAR descentralizados, los cuales hacen parte de un nuevo paradigma del agua que apenas se empieza a conocer en todo el mundo.

La situación que vive actualmente Buga en cuanto a su elección de sistema de tratamiento, ha permitido escogerla como objeto de investigación para este trabajo. Este paralelo entre sistemas descentralizados y centralizados plantea una pregunta de investigación: ¿Qué alternativa, entre un STAR centralizado y descentralizado es más viable en términos económicos para la ciudad de Buga? Para responder la pregunta, el trabajo se divide en 4 partes: La primera consiste en reconocer la situación actual que se vive en Colombia en lo concerniente a STAR; la segunda parte contextualiza la situación actual que tiene la ciudad de Buga con respecto a su elección de STAR y la posible alternativa descentralizada; la tercera parte intenta mostrar una alternativa a los STAR convencionales llamada STAR descentralizado; la cuarta parte tiene como fin la realización de un análisis de mínimo costo para definir que alternativa entre un sistema descentralizado y centralizado es más viable.

El estudio encuentra que las diferencias de costos entre un sistema y otro no son muy grandes, en el caso centralizado la construcción de un colector que transporte las aguas de la zona sur a la PTAR ubicada en el norte representa su mayor desventaja en términos de costos. Finalmente, se encuentra que con diferente tipo de tasa de descuento que se aplique para descontar el flujo de costos varía el resultado de viabilidad de una alternativa frente a otra. Sin embargo, la literatura demuestra que a los sistemas descentralizados se le pueden atribuir otro tipo de beneficios presentados en la sección 3.2 y que en este estudio por limitaciones de tiempo y recursos no se pueden calcular.

1. SITUACION ACTUAL DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN COLOMBIA

En Colombia el 50% del agua potable es de mala calidad (Beleño, 2011), según el informe nacional sobre la gestión del agua en Colombia se descargan al entorno natural aproximadamente cuatro millones y medio de metros cúbicos de aguas residuales. Aproximadamente el 90% de estas aguas corresponde a las aguas residuales industriales y domésticas (Ojeda y Arias, 2000). Los principales sectores que contribuyen al incremento constante de la contaminación hídrica son: el agropecuario, industrial y el doméstico, los cuales generan en conjunto aproximadamente 9000 toneladas diarias (ton/d) de materia orgánica contaminante, en términos de DBO (Ojeda y Arias, 2000).

La contaminación de las fuentes hídricas ha venido acompañada de problemas de salud para los pobladores y destrucción de los recursos naturales. Las aguas residuales que se depositan en los ríos contienen altas concentraciones de bacterias, virus, protozoos y helmitos (OMS, 1989), generando enfermedades como el cólera, fiebre tifoidea, hepatitis A entre otras. Sin embargo, el problema de contaminación de los ríos en especial los de Colombia no solo se debe a la descarga del agua residual doméstica e industrial, sino también a la presencia de minas legales e ilegales. La actividad minera vierte sustancias químicas y metales pesados en los recursos hídricos, afectando la fauna, los acuíferos y la salud de las personas que utilizan este líquido.

Los altos niveles de contaminación se tornan aún más alarmantes cuando se constata que los niveles de agua disponible para uso humano disminuyen. Según el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM, 1998) en su Estudio Nacional del Agua con proyección para el año 2016, existirá un aumento considerable de la demanda de agua para diferentes usos con una disminución de la oferta hídrica natural. Se estima que siguiendo el patrón de consumo y manejo actual del recurso hídrico el 19% de los municipios y el 38% de la población alcanzarán para el año 2016 un índice de escasez¹ superior al 20% (Contraloría Departamental del Valle del Cauca, 2009).

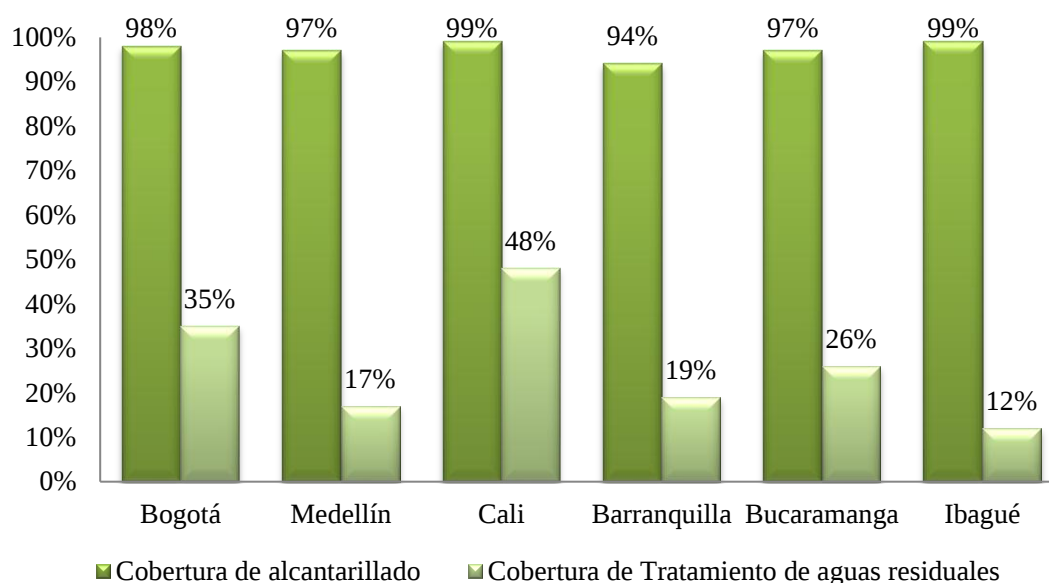
¹ El índice de escasez está conformado por la demanda de agua y la oferta hídrica superficial neta. Para obtener un mayor detalle del índice revisar la Formula1 de los Anexos.

Como se mencionó anteriormente, la situación de contaminación extrema que viven muchos ríos en Colombia es causada también por las descargas directas de aguas residuales domésticas. Estas aguas son aproximadamente el 50% de las cargas contaminantes totales. Según el Plan Nacional de manejo de aguas residuales (PMAR), en Colombia para el año 2004 existían STAR en solo el 21,7% de los municipios del país, 237 sistemas de tratamiento en 235 municipios (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y DNP, 2004), aumentando al 31% en el año 2013 (Portafolio, 2013). Una ciudad que se incluye en el grueso de municipios que no tienen STAR es la ciudad de Buga ubicada en el departamento del Valle del Cauca. Esta ciudad no ha logrado construir una PTAR que solucione su problema de disposición de aguas residuales en el río Cauca. La evaluación económica de un STAR en Buga es el tema central de esta investigación y se tratará posteriormente.

A pesar de que en los municipios que existen STAR se encuentre aproximadamente 64% de la población total del país, un factor que preocupa a las autoridades ambientales es que se estima que solo un 10% de las plantas que hay construidas operan adecuadamente (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2004). Una causa de la suspensión del funcionamiento de los STAR es la sostenibilidad financiera. En el caso colombiano el 77% de los sistemas no han elaborado un estudio de impacto tarifario y el 80% no han implementado metodologías de la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico. Esto conduce a una falta de garantía para la sostenibilidad de los STAR (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2004).

Aunque en algunas de las principales ciudades del país se cuente con un sistema para tratar sus aguas residuales, la baja cobertura de los mismos representa una preocupación para las autoridades y la población en general. Actualmente no existe una ciudad en Colombia que trate el 100% de las aguas residuales generadas, incluso, se encuentra que las cuatro ciudades con mayor número de habitantes en Colombia no alcanzan a tratar el 50% de las aguas residuales que generan. En la figura 1 se observa el notable rezago de la cobertura de tratamiento de aguas con respecto a la del sistema de alcantarillado en 6 ciudades de Colombia.

Figura 1. Cobertura de alcantarillado vs cobertura de tratamiento de aguas residuales



Fuente: DANE (2005).

La Procuraduría General de la Nación (2005) señala que: “Gran parte de los municipios del país debería contar con plantas de tratamiento que permitan disminuir el impacto del vertimiento de las aguas residuales a las fuentes de agua”. También se afirma que los entes territoriales deben realizar una evaluación de la implementación de la misma por medio de un diagnóstico en su plan de desarrollo. Para el año 2005 solo los planes de desarrollo de 336 municipios realizaron un diagnóstico sobre la PTAR, mientras que 672 municipios no incluyeron el tema en sus planes. De estos 336 municipios solo el 23% cuenta con una PTAR, en la que la mayoría de los casos no presenta una cobertura significativa ya que trata solo las aguas del área urbana municipal (Procuraduría General de la Nación, 2005).

El Ministerio del Medio Ambiente (2002) señala 8 factores que no permiten una adecuada gestión para el manejo, tratamiento y disposición final de las aguas residuales: 1. La falta de interés político y conciencia ambiental en las administraciones municipales. Señala que se ignoran los impactos verdaderos que causan las descargas de las aguas residuales en los cuerpos hídricos, pasando por alto la normatividad ambiental; 2. El supuesto de que existe una mayor prioridad por ejecutar proyectos alusivos al sistema de acueducto. No se tiene en cuenta que la disminución de la contaminación en los ríos permite una mejor disponibilidad de agua para el consumo disminuyendo la inversión en infraestructura para potabilización.

3. La falta de recursos para invertir en proyectos de descontaminación hídrica debido al alto costo que presentan los sistemas centralizados que habitualmente se utilizan; 4. La falta de claridad sobre el tipo de tecnologías correctas para el tratamiento de las aguas residuales. Esto se debe a la falta de estudios donde se analicen distintas alternativas desde su efectividad y costos; 5. La falta de planes maestros de alcantarillado y de saneamiento urbano; 6. La baja capacidad de gestión para obtener recursos en la zona que se desea implementar la PTAR; 7. El rezago en el cobro de la tarifa real de alcantarillado que tienen las localidades; 8. La falta de reestructuración de las empresas de servicios públicos (Ministerio del Medio Ambiente, 2002).

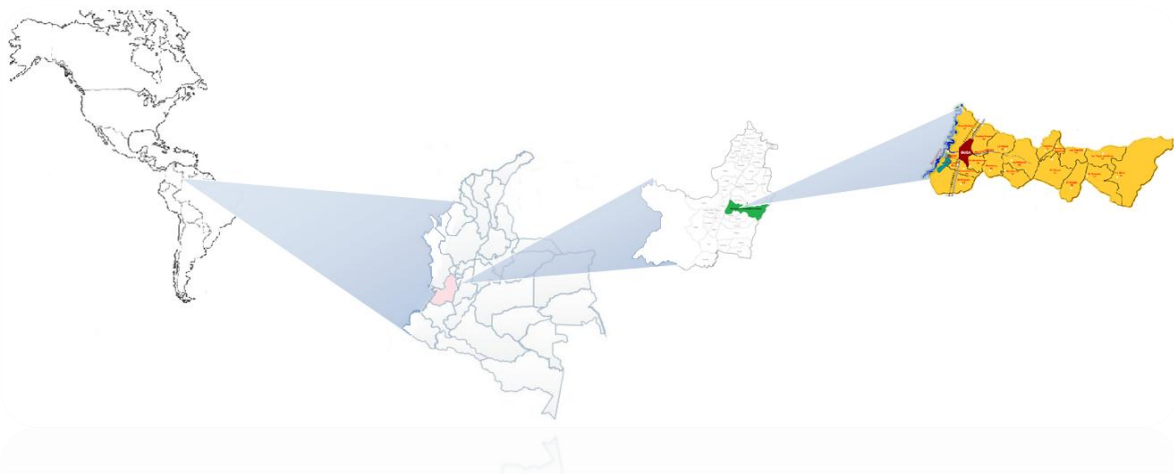
Como se mencionó anteriormente, para el año 2004 existían 237 plantas en 235 municipios (Portafolio, 2013), indicando que la mayoría cuenta con solo una PTAR, esto demuestra que la implementación de STAR en Colombia ha sido enfocada en la construcción de sistemas de tratamiento convencionales o centralizados. En algunos lugares del mundo como Pekín y partes de Estados Unidos se han presentado cambios en la perspectiva sobre el manejo del agua, perspectiva que ahora incluye valores ecológicos. Se han planteado dos enfoques respecto al manejo el agua: el enfoque tradicional y el enfoque moderno (Gleick, 2000). El enfoque tradicional o paradigma reinante se basa en un sistema en el que se asume que el agua es un recurso ilimitado y por lo cual se permite explotar cada día más. El moderno se asocia a una perspectiva donde se otorga una mayor valoración a los recursos naturales que anteriormente eran subvalorados o simplemente su valoración era nula.

En Colombia la gestión y administración de los STAR han obedecido en su forma de organización a un patrón en el cual los sistemas centralizados han dominado las mesas de concertación que definen los sistemas de saneamiento en las ciudades. Este patrón a pesar de ir cambiando en algunas ciudades del mundo, se encuentra todavía lejos de adoptarse a nivel mundial, en especial en países en vía de desarrollo. Esta dificultad se debe principalmente en el caso colombiano a las restricciones presupuestarias de los entes territoriales que no permiten desarrollar estudios que revelen alternativas novedosas de tratamiento frente a las existentes en la actualidad.

2. GUADALAJARA DE BUGA.

Una ciudad que pertenece al grupo de los municipios del país que no poseen un sistema de tratamiento de aguas residuales es la ciudad de Guadalajara de Buga. Este municipio que se encuentra a 60 km de la ciudad de Cali posee una superficie de 832 km² y cuenta con 114.434 habitantes aproximadamente, lo que la hace pertenecer al grupo de las 6 ciudades del Valle del Cauca con más de 100.000 habitantes. El municipio de Buga limita al norte con el municipio de San Pedro y Tuluá, al sur con los municipios de Cerrito, Ginebra y Guacarí, al occidente con Yotoco y al Oriente con el Tolima (Alcaldía de Guadalajara de Buga, 2013).

Figura 2. Localización del municipio de Guadalajara de Buga

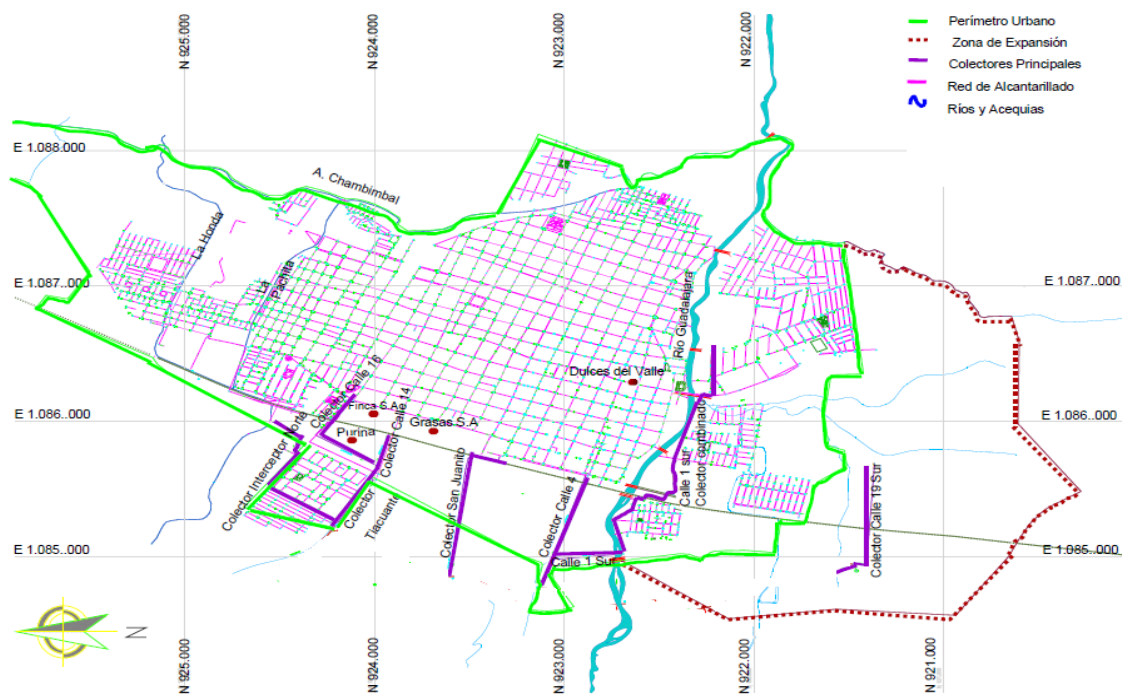


Fuente: Elaboración propia.

Buga ha sido comúnmente identificada como una ciudad turística debido a la gran cantidad de visitas que recibe anualmente en la Basílica del Señor de los Milagros. El alto número de visitantes ha hecho que el turismo represente una participación muy fuerte en la economía del municipio junto con el comercio, la agricultura, la ganadería y la industria. La producción agrícola de este municipio está basada principalmente en cultivos de Caña de azúcar, café y plátano. En cuanto a la concentración de su población, el 89% de su población se encuentra distribuida en la zona urbana a pesar de que la mayoría de sus tierras sean de tipo rural.

El municipio es atravesado por el río Guadalajara de oriente a occidente pasando por 13 corregimientos. En este río desembocan las quebradas: Las Frías, El Janeiro, La Zapata y La María. Adicionalmente a los caudales de los ríos que desembocan a este, la laguna el Conchal, el río Guadalajara y el río Cauca reciben los vertimientos de aguas residuales domésticas e industriales de la población Bugueña. Según el informe diagnóstico en abastecimiento de agua y saneamiento básico del municipio de Buga (Gobernación del Valle del Cauca, 2009) el sistema de alcantarillado deposita en promedio 200 litros por segundo de aguas residuales.

Figura 3. Esquema General del Sistema de Alcantarillado de la ciudad de Buga



Fuente: CVC y Universidad del Valle (2007).

Las aguas residuales de Buga se transportan a través de tres colectores: Zanjón San Juanito, Zanjón Calle 4 y Zanjón Tiacuante. El zanjón San Juanito transporta las aguas residuales de origen doméstico del área entre las carreras 1 y 19 y las calles 6 y 9. El zanjón Calle 4 recoge tanto aguas residuales como aguas lluvias en el área comprendida entre las carreras 1 y 19 y las calles 1 a 6. El colector Tiacuante que recoge las aguas residuales producidas entre las carreras 1 y 19 y las calles 9 a 21 es el que recibe la mayor parte de las aguas residuales de la ciudad (60%) (PSMV- 2007 en Gobernación del Valle del Cauca, 2009). En este mismo informe se destaca que la carga contaminante de DBO es aproximadamente de 5800 Kg por día, lo que afecta profundamente las condiciones químicas y microbiológicas del agua del río Cauca (Gobernación del Valle del Cauca, 2009).

Los planes departamentales de Aguas y Saneamiento (PDA) surgen a raíz del CONPES 3463 (DNP, 2007) y “son la estrategia del gobierno nacional para avanzar con la mayor celeridad en las transformaciones para el manejo empresarial de los servicios de Agua Saneamiento y Salud (AAS)” (Gobernación del Valle del Cauca, 2009, p. 1). El diagnóstico del PDA contiene 6 componentes que identifican las necesidades más importantes de los municipios con el fin de orientar las inversiones hacia esa dirección. Los componentes del PDA son: Componente financiero e institucional, empresarial, ambiental, técnico acueducto y alcantarillado, residuos sólidos y zona rural. El informe de diagnóstico en abastecimiento de agua y saneamiento básico del PDA del Valle del Cauca coincide con las necesidades que plantea el Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV). Se plantea la necesidad de construcción de una PTAR con el fin de reducir el aporte de carga por contaminación doméstica mejorando de esta manera la calidad de la fuente receptora (Gobernación del Valle del Cauca, 2009).

En la ciudad de Buga la normatividad ambiental ha hecho que sus dirigentes busquen salidas para disminuir la contaminación hídrica generada por el vertimiento de sus aguas municipales sin ningún tratamiento. Esta ciudad estableció en su POT 2000 al 2012 la obligación por parte de las empresas prestadoras del servicio de acueducto y alcantarillado de realizar un programa de saneamiento básico que logre mitigar el impacto generado por los vertimientos de lodos (Alcaldía de Guadalajara de Buga, 2000). Para el año 2004 en el

plan de desarrollo municipal 2004- 2007 se decide construir un sistema de tratamiento de aguas residuales centralizado en el lado norte de la ciudad junto a al río Guadalajara (Contraloría Departamental del Valle del Cauca, 2009). Este proyecto cambia en el plan de desarrollo 2008-2011 con la propuesta de implementación de dos PTAR, en la zona norte y sur de la ciudad (Contraloría Departamental del Valle del Cauca, 2009). Finalmente en el plan de desarrollo 2012-2015 se establece:

“La construcción de la PTAR será una prioridad por lo cual se concentrarán los esfuerzos en analizar cuál es la mejor tecnología desde el punto de vista del área del lote requerido, los costos de construcción y de mantenimiento, el cumplimiento de los requerimientos de tratamiento del agua residual y los costos en el manejo de lodos, siendo este un aspecto fundamental para definir la mejor localización y lograr destrabar la compra del predio” (Alcaldía de Guadalajara de Buga, 2012).

El señalamiento que se hace en el plan de desarrollo del municipio (Alcaldía de Guadalajara de Buga, 2012) da cuenta que el problema de compra del terreno ha sido un factor que ha frenado el proceso. Sin embargo, las políticas actuales del municipio plasmadas en su plan de desarrollo “Buga para vivir mejor” muestran la decisión de establecer solo una PTAR que sirva tanto a la zona norte como a la zona sur de la ciudad. A parte de las dificultades de gestión que se presentan en la ciudad, como lo son los problemas en la adquisición de terrenos para la construcción de la PTAR, también ha existido en los procesos de selección de tecnología una preocupación constante por el impacto tarifario y la sostenibilidad del sistema en el municipio.

La problemática referente a la sostenibilidad del STAR se genera por que la mayoría de la población urbana del municipio se encuentra en los estratos más bajos. Los estratos socioeconómicos 1, 2 y 3 representan el 80% de la población Bugueña. La concentración de la población en estos estratos dificulta la sostenibilidad financiera, al ser la minoría ubicada en los estratos 4, 5 y 6, los que deben asumir la carga impositiva que subsidia a los estratos más bajos.

El proyecto de implementación de un STAR en Buga presente en 3 planes de desarrollo continuos ha conllevado a que la Contraloría Departamental del Valle del Cauca (2009) se pronuncie en la auditoría realizada a Aguas de Buga. La contraloría (2009) señala que no se ha ejecutado ninguna de las estrategias mencionadas anteriormente para cumplir con el objetivo de tratar las aguas residuales disminuyendo el impacto en la calidad del recurso hídrico. A lo anterior se suma que en la actualidad Aguas de Buga S.A. ESP no cuenta con permiso de vertimiento del sistema de alcantarillado al río Cauca (Contraloría Departamental del Valle del Cauca, 2009).

En Buga se han venido presentando en los últimos 9 años diferente tipo de proyectos para el tratamiento de sus aguas residuales, sin embargo ninguno se ha ejecutado. A partir de las discusiones en el municipio, el plan de desarrollo vigente establece la construcción de una sola PTAR (Alcaldía de Guadalajara de Buga, 2012). En el presente trabajo se analizará la alternativa que se decidió implementar en Buga versus las potencialidades que tuvo la discusión, que en este caso está representada por la construcción de dos plantas de tratamiento de Aguas. La alternativa de establecer dos PTAR es una posibilidad viable para Buga por la característica geográfica del municipio, ya que esta ciudad se encuentra dividida en zona sur y norte por medio del río Guadalajara. Lo anterior permite que una PTAR se encargue del tratamiento de la zona consolidada (Norte) y la segunda PTAR trate las aguas de la zona sur y de expansión evitando la construcción de un gran colector

El esquema tecnológico de tratamiento de aguas residuales para el presente estudio es el de: “Rejilla gruesa + Rejilla fina + Desarenador + LAAT-Laguna Anaerobia Alta Tasa + Laguna Facultativa + Lechos de Secado”, este sistema se propuso para tratar la totalidad del residual del municipio y corresponde al esquema centralizado que se pretende evaluar. En relación a la segunda opción, se utiliza la misma alternativa tecnológica en los dos sistemas de tratamiento, uno para tratar las aguas residuales de la consolidada y otro para la zona de expansión de la ciudad. La segunda opción correspondiente a dos PTAR se cataloga como un STAR descentralizado. Los STAR descentralizados es el objeto de estudio en la siguiente sección.

3. SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DESCENTRALIZADOS

A lo largo del tiempo se ha constatado que los niveles de consumo de agua tanto para riego, como para uso humano en el mundo han aumentado drásticamente, disminuyendo los niveles de disponibilidad del recurso hídrico para tales fines. La extracción de agua a nivel mundial ha aumentado casi siete veces en el último siglo (Shiklomanov, 1998). Este fenómeno ha sido causado principalmente por la planeación y ejecución de proyectos hidráulicos, basados en estimaciones de variables como la población futura, demanda de agua y producción agrícola. Variables que al ser calculadas al alza conllevaron a que las necesidades y extracciones de agua superaran las fuentes de abastecimiento, generando una gran brecha que conduce a la búsqueda de nuevas fuentes hídricas (Gleick, 2000).

Estos sistemas tradicionales de extracción y tratamiento basados en un incremento desmedido del consumo del agua, han omitido justificaciones desde el punto de vista económico. Excluyen los altos costos sociales y ambientales que generan, así como también han utilizado tasas de descuento altas y periodos largos de pago a la hora de evaluarse. Además, se conoce de destrucción de ecosistemas, contaminación de fuentes de agua, pérdida de especies marinas entre otros, causada por el desarrollo hidráulico del siglo pasado (Gleick, 2000). En Colombia este paradigma ha continuado vigente a la hora de tomar decisiones concernientes a sistemas de saneamiento. La agenda política ambiental se enfoca en la búsqueda de fuentes hídricas y de nuevas tecnologías para el tratamiento del agua cruda para el consumo humano.

Ante esta problemática con el manejo hídrico, han surgido ideas de proyección, donde se presentan iniciativas innovadoras como el concepto de un *nuevo paradigma del agua*. Este nuevo concepto según Gleick (2000), apunta a la introducción de valores ecológicos en el manejo del recurso hídrico, manteniendo el equilibrio ecológico y la salud ambiental. Bajo este enfoque, el reuso del agua residual tanto para fines de riego, consumo industrial y hasta doméstico en países con escases de fuentes hídricas es un método que conlleva a un manejo integral del recurso con el fin de preservarlo.

En cuanto a los sistemas de saneamiento, algunos elementos del enfoque moderno o *nuevo paradigma del agua* establecen que se deben seleccionar aquellos que cumplan tres condiciones: La primera, deben promover la salud y evitar la enfermedad por medio de la prevención de la contaminación desde el origen; la segunda, deben proteger el medio ambiente y conservar los recursos usando el agua de manera eficiente, evitando que los lodos residuales sean vertidos directamente en los ríos y que el recurso hídrico sea un medio de transporte para la excreta humana; y la tercera, deben recuperar y reciclar nutrientes (Sawyer, Buenfil y Delmaire, 2003).

Este nuevo enfoque busca que los recursos hídricos se analicen desde una perspectiva holística priorizando el uso eficiente el agua, incentivando la búsqueda de métodos alternativos que velen por tal fin. Tratar el agua residual lo más cerca al origen (sistema descentralizado) responde a este nuevo paradigma debido a que: se genera un potencial de reuso de las aguas residuales, la capacidad de tratamiento de las aguas es mayor y se evita los grandes y costosos sistemas de recolección por gravedad propensos a filtraciones. Adicionalmente este sistema permite una reducción en los costos de recolección y transporte del sistema de alcantarillado. Es posible que desde el punto de vista ambiental un STAR descentralizado cause menos impacto en las descargas de efluentes que una sola descarga centralizada, generando menos contaminación.

La descentralización de los sistemas de tratamiento, indica el cambio de un sistema de tratamiento centralizado a dos o más plantas según sea el tamaño de la ciudad. El glosario del *consorcio de institutos para el tratamiento de las aguas residuales* (CIDWT siglas en inglés) define un STAR descentralizado como aquel que trata, recoge y dispone/ reusa el agua residual de hogares individuales, grupos de viviendas, comunidades aisladas, industrias y establecimientos institucionales, además de ser aquel que trata el agua residual cerca del punto de generación de la misma² (CIDWT, 2009).

2 La definición original en inglés en el catalogo para decentralized wastewater treatment system, es la siguiente: “wastewater treatment system for collection, treatment, and dispersal/reuse of wastewater from individual homes, clusters of homes, isolated communities, industries, or institutional facilities, at or near the point of waste generation” (CIDWT 2009, p. 109)

3.1 CLASIFICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS

Los STAR descentralizados se clasifican de acuerdo a la escala en: tratamiento individual, Clúster, grandes bloques y Sistemas semi centralizados o satélites. En cuanto al sistema de tratamiento de aguas residuales individual se refiere al tratamiento de las aguas en el suelo del lugar en el cual se generan, es decir, un sistema por vivienda. Por otro lado, los sistemas Clúster se refieren a aquellos que tratan el agua generada de grupos de viviendas, normalmente entre 4 a 12 o más. Los sistemas en grandes bloques son los que tratan el agua de edificios, escuelas, universidades etc. Los sistemas semi descentralizados son aquellas plantas satélites que se pueden integrar a un sistema centralizado.

La descentralización no puede estar asociada a plantas pequeñas o a un número determinado de personas que utilizan el servicio, las plantas pequeñas actúan localmente de forma descentralizada mientras que una PTAR descentralizada no se debe considerar como pequeña (Libralato, Ghirardini y Avezzú, 2011). Los sistemas en grandes bloques comunes en Japón, y los semi centralizados son dos niveles de descentralización, los cuales distan del tratamiento tradicional que se le da a las aguas residuales en la mayoría de ciudades. El tratamiento usual que se le ha dado a las aguas residuales de los centros poblados, en especial en Colombia, ha sido un tratamiento centralizado o convencional, con sistemas en ocasiones sobredimensionados y costosos. Orth (2007) establece que la descentralización se puede clasificar en tres categorías: sistemas de saneamiento simple, plantas de tratamiento mecánico biológico de pequeña escala y sistemas de reciclaje.

La escogencia e implementación de un sistema de tratamiento de aguas residuales en la mayoría de comunidades del mundo ha dejado de lado factores ambientales, como la posibilidad de reutilización de aguas residuales, la recarga de aguas subterráneas, la protección de pozos y de cuencas hidrográficas. Pinkham *et al.* (2004, p.7) plantean: “Un adecuado plan de protección integral del agua es aquel que identifica las medidas que tengan el mayor impacto en la reducción de riesgos para la salud pública y el medio ambiente con el menor costo”.

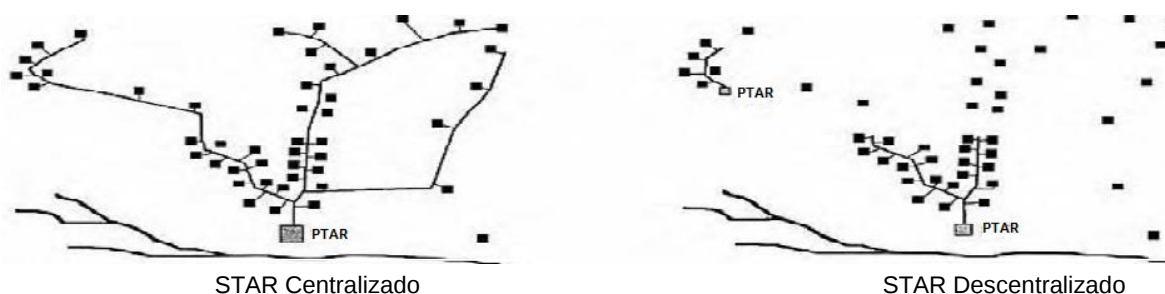
La línea de separación entre un sistema descentralizado y centralizado es difícil de establecer, factor que se debe principalmente a la existencia de sistemas en clúster, los cuales no tienen establecido un número máximo de hogares para el tratamiento de sus aguas residuales. Sin embargo, hay algunos profesionales en el tema y entidades que han tratado de revelar la línea de separación entre estos dos sistemas. La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, siglas en inglés) establece que los sistemas descentralizados son los que tratan volúmenes relativamente pequeños de agua (EPA, 1997 p. A-1).

Existen otros factores que tratan de esclarecer la delgada línea entre estos dos sistemas, Pinkham *et al.* (2004) mencionan que el tipo de alcantarilla que usa el sistema, el tipo de tratamiento, el método de descarga, la propiedad y la escala relativa del tratamiento son factores que pueden ayudar a distinguir entre los dos sistemas. En cuanto al tipo de sistema de recolección se conoce que los sistemas centralizados normalmente hacen uso de alcantarillas por gravedad, las cuales suelen tener una gran longitud, lo que implica el alcance de grandes profundidades de excavación. Por otro lado, los sistemas descentralizados al tratar cantidades menores de aguas residuales, utilizan tubos de diámetro más pequeño con distancias más cortas y menores profundidades de excavación.

Los filtros de arena, de goteo, y una amplia variedad de tecnologías son los tipos de tratamiento que se utilizan comúnmente en los sistemas descentralizados, mientras que el proceso de lodos activados es el tratamiento común en los sistemas convencionales (Pinkham *et al.*, 2004). En la mayoría de los sistemas centralizados la descarga de aguas se realiza en un cuerpo de agua, mientras que los sistemas en clúster comúnmente descargan las aguas tratadas por infiltración en el suelo. En cuanto a la propiedad, los sistemas centralizados son de propiedad pública, lo cual difiere de los descentralizados que suelen pertenecer a una entidad privada o asociación de propietarios. Finalmente Pinkham *et al.* (2004) resaltan que los sistemas centralizados sirven a toda una ciudad o comunidad, mientras que un sistema en clúster son de una escala relativa menor sirviendo solo a una parte.

En cuanto a la diferencia en las escalas de los sistemas de tratamiento centralizado y descentralizado, Geisinger y Chartier (2005) realizaron una comparación gráfica:

Figura 4. Tratamiento de aguas centralizado versus el enfoque descentralizado



Fuente: Geisinger and Chartier (2005, pág. 6)

En la figura 4, PTAR indica el establecimiento de una planta de tratamiento de aguas residuales. Como se observa en la primera imagen, en un sistema centralizado solo existe una planta de tratamiento que aborda el total de la población, mientras que en la imagen del enfoque descentralizado se observa que existen dos plantas que cubren de forma separada segmentos de la población, con la posibilidad de que los puntos negros aislados tengan soluciones individuales.

3.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DESCENTRALIZADOS

Pinkham *et al.*, (2004) describen las ventajas y desventajas de los sistemas descentralizados agrupándolas en 6 categorías: 1. Planificación financiera y de riesgos financieros; 2. Impactos en la comunidad y la cuenca; 3. Repercusiones en el lugar y barrio; 4. Costos de capital, operación y mantenimiento; 5. Gestión; 6. Fiabilidad, vulnerabilidad y resistencia. En la primera categoría, los autores resaltan que el pequeño tamaño de los sistemas descentralizados en relación a los tradicionales se adapta más fácilmente al crecimiento de la demanda, evitando el sobredimensionamiento de la planta, trasladando los costos de capacidad al futuro, obteniendo un valor presente neto menor.

Complementariamente, el pequeño tamaño de los STAR descentralizados además de trasladar costos hacia el futuro, permite que al incumplirse las expectativas de crecimiento de la población, se evite el costo de sobredimensionamiento inherente al sistema centralizado. Adicionalmente, el tamaño de la planta descentralizada conlleva a una menor duración en la construcción, permitiendo que los recursos no se inmovilicen periodos largos de tiempo, lo que representa un beneficio para este tipo de sistema. En la segunda categoría, se resalta que al establecer un STAR sin una adecuada planificación, se puede llegar a un crecimiento desorganizado, generando así altos costos.

Un beneficio del STAR descentralizado en la categoría “repercusiones en el lugar y barrio” es el control de olores, ya que este problema es más controlable con un sistema de pequeña escala. No obstante, en lo referente al control del ruido este no depende del grado de centralización que tenga un sistema sino del tipo de tecnología que use los sistemas descentralizados y centralizados. Dentro de “costos de capital, operación y mantenimiento” se encuentra que los sistemas descentralizados tienen la ventaja de evitar las deseconomías de escala que son inherentes a los sistemas de alcantarillado o recolección de aguas residuales.

Una deseconomía de escala indica el aumento del coste por unidad de cada servicio a medida que aumenta la producción del mismo. Así pues, es claro que una deseconomía de escala en una red de alcantarillado significa que a medida que crece la población y por ende el servicio de alcantarillado, el costo unitario de este aumenta. En la última categoría “fiabilidad, vulnerabilidad y resistencia” se destaca la ventaja que tienen los sistemas descentralizados frente a los centralizados por la distribución del riesgo, ya que las fallas pequeñas en un sistema alternativo no tienen como consecuencia efectos graves para todo el sistema como ocurre en los sistemas centralizados o convencionales. Los costos evitados en construcción y mantenimiento del sistema de alcantarillas es una gran ventaja que tienen los sistemas de tratamiento de aguas residuales descentralizado sobre los centralizados.

La recolección, tratamiento y disposición son los componentes básicos de un sistema de manejo de aguas residuales, siendo la recolección el componente menos importante en términos de la calidad final del tratamiento (Massoud, Tarhini y Nasr 2009). A pesar de la poca importancia que tiene el primer componente en un STAR, este cuesta más del 60% del presupuesto total en un sistema centralizado (Hoover 1999 citado en Massoud *et al.*, 2009), costo que disminuye drásticamente con la implementación de un sistema descentralizado ya que este último no hace uso de sistemas de alcantarillados de gran extensión. Los sistemas alternativos o descentralizados se centran primariamente en el tratamiento y eliminación de aguas residuales minimizando el componente de recolección.

Pinkham, *et al.*, (2004) establecen que los sistemas descentralizados ante fallas pequeñas, la totalidad del sistema no presenta grandes fallos como si ocurriría en los sistemas convencionales. La construcción de un sistema centralizado para una pequeña comunidad de un país en vía de desarrollo se traduce en una carga de deudas para la población (Parkinson y Tayler, 2003). Es importante resaltar que a pesar de que los sistemas descentralizados tienen múltiples ventajas en comparación a los sistemas convencionales, la planificación y la escogencia de un sistema de tratamiento se realizan comúnmente por la fuerza de la costumbre y la familiaridad, favoreciendo la escogencia de sistemas convencionales o centralizados (Pinkham, *et al.*, 2004).

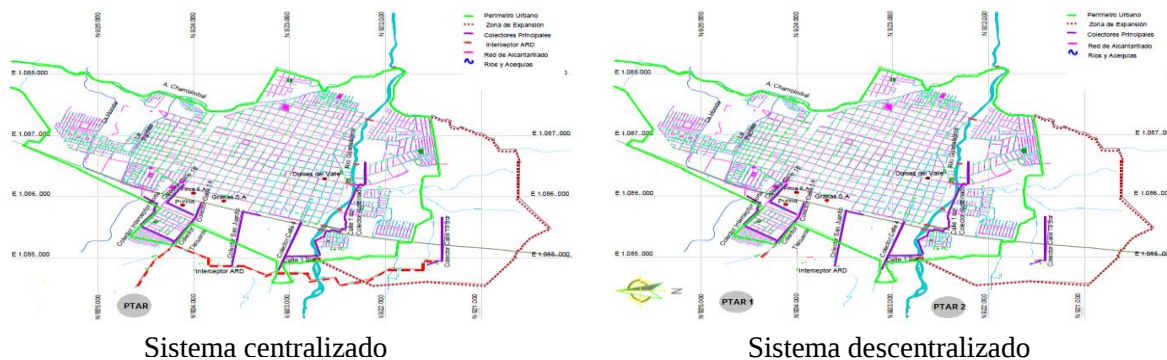
Una PTAR por medio de procesos físicos, químicos y biológicos remueve los contaminantes que se encuentran en las aguas negras con el fin reusar el agua o disponerla en un cuerpo hídrico con un impacto ambiental menor que el que se produciría sin ningún tipo de tratamiento. La eficiencia de la remoción de contaminantes depende de una buena selección de alternativa tecnológica de acuerdo a las características del agua residual y el contexto, además de una adecuada operación y mantenimiento del sistema. En EEUU la mayoría de STAR centralizados remueven más del 85% de la demanda Biológica de Oxígeno (DBO) y los sólidos suspendidos totales (SST) (Pinkham *et al.*, 2004). En cuanto a los sistemas descentralizados, bajo ciertas condiciones pueden alcanzar más del 99 % de eliminación de coliformes fecales (Anderson y Otis, 2000).

4. EVALUACIÓN ECONÓMICA DE STAR

Debido a la alta contaminación hídrica que existe en la actualidad, la sociedad ha derivado esta situación en la construcción de Plantas de Tratamiento de Aguas residuales. En el caso de la ciudad de Buga ubicada en el Valle del Cauca, el alto nivel de contaminación del río Cauca ha conllevado a la iniciativa de construcción de un STAR. En este capítulo se realiza una evaluación económica de las alternativas de sistema de tratamiento para Buga. Las alternativas que se evaluarán son: la implementación de un STAR centralizado versus la implementación de uno descentralizado. En la actualidad Buga deposita sus aguas residuales al cuerpo hídrico sin ningún tipo de tratamiento previo, sus aguas son depositadas al río Guadalajara y a la laguna el Conchal. Debido a que el río Guadalajara es tributario del río Cauca, este último es el que se ve más afectado por el vertimiento de estas aguas (Gobernación del Valle del Cauca, 2009).

En este estudio las alternativas de tratamiento para disminuir el impacto en el medio ambiente de las aguas residuales generadas en Buga son dos: 1. Establecer una PTAR en el lado norte de la ciudad que trate las aguas residuales generadas en la zona norte y sur de la ciudad, depositando finalmente las aguas tratadas en el río Guadalajara; 2. Establecer dos PTAR, una en el lado norte de la ciudad y otra en el lado sur, donde cada una de las plantas tratará las aguas de la zona en la que se encuentra (norte y sur) siendo la PTAR de la zona norte la que mayor volumen de aguas residuales trate con relación a la PTAR de la zona sur. Las aguas residuales después de su tratamiento con la alternativa descentralizada serán depositadas en el río Guadalajara.

Figura 5. Alternativa centralizada y descentralizada de STAR para la ciudad Buga



Fuente: basado en CVC y Universidad del Valle (2007).

Realizar una evaluación económica implica definir los beneficios y costos de cada opción de tratamiento. En este caso los impactos no solo se ven reflejados ambientalmente para la población de la ciudad, sino para todos los demás habitantes de las poblaciones que se encuentran en las riberas del río hacia el norte del país. Debido a lo anterior, los beneficios o efectividad que tiene cada sistema serán la calidad del agua del río Cauca posterior a un vertimiento de las aguas residuales tratadas. La calidad del agua de la fuente receptora está relacionada con la concentración de oxígeno disuelto, de materia orgánica medida en forma de DBO y sólidos suspendidos, además de otros contaminantes como plaguicidas, elementos radioactivos o contaminación microbiológica. En la actualidad el río Cauca en su paso por Buga ya presenta altos niveles de contaminación a causa de los vertimientos realizados por los municipios que atraviesa antes de pasar por Buga.

La primera ciudad que contamina el río Cauca es la ciudad de Popayán, la cual vierte las aguas residuales de su población sin ninguna clase de tratamiento, después el río pasa por la ciudad de Cali inyectándole más de 3000 litros por segundo de aguas residuales, y finalmente cuando llega a la ciudad de Yumbo sus aguas no tienen oxígeno, lo que lo convierte prácticamente en un río “muerto” (Espinel y Valencia 2007). Esta situación muestra que la implementación del STAR en Buga no contribuye de una manera positiva en la calidad del río, debido a que las aguas ya pasan completamente contaminadas. No es posible entonces atribuir un beneficio sustancial de tipo ambiental al STAR de Buga ya que su efecto es mínimo por la contaminación producida por otras ciudades situadas en el sur.

Debido a los efectos marginales que presenta el tratamiento de las aguas residuales en la calidad de las aguas del río Cauca, los beneficios para ambos proyectos tendrán la misma magnitud. De esta manera la evaluación económica se enfocará en los costos del STAR realizando un análisis de mínimo costo. En la literatura internacional se han explorado diferentes métodos para calcular otro tipo de beneficios con la implementación de un STAR. La mayoría de los beneficios que se calculan para los STAR se relacionan con los costos evitados por enfermedad y los costos oportunidad. También se encuentra que se calculan beneficios como el aumento en la conciencia de las personas y el valor del agua ahorrada en los sistemas de reuso.

Con relación a los beneficios que se relacionan con la disminución de enfermedades, es importante resaltar que en Buga no se puede hacer el cálculo ya que la implementación del STAR no mejora de manera significativa la salud de la población urbana. A diferencia de los cálculos realizados por la OMS (2004) y Prihandrijanti, Malisie y Otterpohl (2008)³, la población cuenta en su gran mayoría con su propio sistema sanitario individual. La población de Buga no tiene contacto directo con las aguas residuales por lo que no existe un cambio significativo en la salud con la implementación de cualquiera de las alternativas de STAR. En el caso de la OMS (2004), esta organización halló los beneficios de las mejoras del agua y saneamiento a nivel mundial por medio de un análisis de costos evitados y costo oportunidad del tiempo de enfermedad asociado al salario mínimo.

Debido a que la situación inicial de los casos presentados en el apéndice difiere mucho de la situación que vive actualmente Buga, no se puede adaptar gran parte de los métodos de cálculo de beneficios para el caso de estudio. El cálculo de gastos evitados por enfermedad y ahorro que hace la OMS (2004) no se puede implementar para la ciudad de Buga debido a que los cálculos de la OMS se centraron básicamente en acceso a saneamiento como letrinas en el caso de las poblaciones que no tenían. En las poblaciones que contaban con una única letrina con bajas condiciones de higiene, el acceso a saneamiento consistió en implementar nuevos sistemas más higiénicos que permitieran una disminución de los episodios de diarrea.

De forma contraria a la situación anterior expuesta por la OMS (2004), en la ciudad de Buga la mejora en el saneamiento consiste en el diseño, construcción e implementación de un sistema de tratamiento de aguas residuales, en una ciudad en la que su totalidad de viviendas poseen ya un sistema sanitario individual. Esta situación demuestra que en general la construcción de una o dos plantas de tratamiento no representa diferencias significativas en la mejora de casos de diarrea dentro de la población urbana de la ciudad de Buga, ya que la gran mayoría de habitantes no están expuestos directamente a las aguas residuales.

³ La información de métodos de cálculo de beneficios y costos de los autores citados en esta sección se encuentran en el apéndice.

Los beneficios calculados por Liang y Van Dijk (2008) no se pueden adaptar a la ciudad de Buga, la razón principal es la diferencia en el sistema de tratamiento, ya que el estudio de Liang y Van Dijk (2008) tiene como fin calcular la viabilidad de un sistema de reciclaje de agua. El sistema de tratamiento que se implementará en Buga depositará las aguas tratadas en el río, por lo cual estas no tendrán ningún tipo de reuso en la ciudad. Al no existir un ahorro de agua en Buga no se puede calcular un beneficio como el calculado para la planta Qing. En lo referente a los costos evitados por alcantarillado estos ya se incluyen en la disminución de costos que tiene el sistema descentralizado en la ciudad de Buga.

El aumento de la conciencia social no se aplica para el caso de estudio, si bien los autores (Liang y Van Dijk, 2008) resaltan que un sistema de reciclaje infunde en las personas una mayor conciencia por el ahorro del agua, el sistema implementado en Buga sigue depositando aguas en el río sin un impacto ambiental considerablemente menor. Con respecto al impacto en el río Cauca, la implementación del STAR en Buga no contribuye de una manera positiva al medio ambiente debido a que las aguas cuando pasan por su ciudad están completamente contaminadas. En otras palabras, no es posible atribuir un beneficio de tipo ambiental al STAR de Buga ya que su efecto es mínimo comparado con las grandes consecuencias de la contaminación producida por otras ciudades situadas hacia el sur.

Los beneficios que utilizó Prihandrijanti *et al.* (2008) se adaptan más al caso de estudio de la ciudad de Buga debido a que se asume que son los mismos valores para las tres alternativas. En términos de beneficios a la salud tanto la alternativa descentralizada como la centralizada disminuyen en igual proporción el número de enfermedades ocasionadas por el contacto directo con las aguas residuales, esto se debe a que la implementación de cualquiera de las dos alternativas evita de igual manera que las personas se contacten con el agua residual. En este sentido, establecer que ambas alternativas (STAR centralizado y descentralizado) tienen la misma efectividad o beneficio conlleva a que el análisis que se realice sea el de mínimo costo. En donde la alternativa económicamente más viable es aquella en la que se incurre en menos gastos.

Los costos correspondientes a cada alternativa son aquellos relacionados con la construcción, ejecución y mantenimiento de las plantas y colectores. Para realizar una correcta valoración de los costes se debe medir y valorar cada ítem individualmente (Drummond, O'Brien, Stoddart y Torrance, 1997), es decir que tanto a la construcción ejecución y mantenimiento de las plantas y colectores se les debe hacer un análisis de asignación de costes unitarios o precios, los cuales deben tener su propio periodo de tiempo para que de esta forma se llegue al valor presente de los mismos. Sin embargo, algunos autores han adicionado a los costos de construcción, operación y mantenimiento, los impactos negativos del proyecto (beneficios negativos) llamándolos costos de tipo ambiental y social. Este último tipo de costos son calculados con métodos que tienen en cuenta el salario que dejan de percibir las personas al enfermarse.

La OMS (2004) calculó los costos de lograr un número determinado de metas con respecto al saneamiento y suministro de agua potable. Los costos que se incluyen al igual que los establecidos en el estudio de Prihandrijanti, Malisie y Otterpohl (2008) son los de construcción, supervisión, tratamiento, operación y mantenimiento, y recursos para poner en marcha el sistema. Liang y Van Dijk (2008) dividen los costos en económicos y ambientales (impactos negativos). Los costos económicos se caracterizan en este estudio por ser los de construcción de la planta, instalación de la red de alcantarillado y mantenimiento. Los costos ambientales para los autores son los daños a la salud, como enfermedades por el contacto con el agua reciclada o por el impacto del ruido.

En la ciudad de Buga no se puede implementar el cálculo de costos ambientales que hace Liang y Van Dijk (2008). El STAR no permitirá que las personas tengan contacto directo con bacterias, ya que no se utilizará agua reciclada para riego en la ciudad vallecaucana. Por otro lado, debido a la ubicación de la planta y al reglamento técnico del sector Agua potable y saneamiento Básico que no permite que se encuentren viviendas cercanas al lugar de establecimiento de la PTAR, no habrá impactos negativos en la salud. En este orden de ideas, se concluye que en Buga los únicos costos que se manejarán en el establecimiento de la PTAR serán aquellos relacionados con su construcción, operación y mantenimiento.

En este sentido, el capítulo está compuesto por cuatro secciones, la primera consiste en la descripción del método de mínimo costo que se utiliza en este estudio; la segunda contiene el método desarrollado para la selección de la tecnología para el tratamiento de aguas residuales, así como una breve descripción de la remoción alcanzada con el esquema tecnológico escogido en términos de descontaminación; en la tercera sección se calculan los costos de construcción, operación y mantenimiento de las dos alternativas de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Buga; finalmente, en la cuarta sección se descuentan los costos, obteniendo el valor presente de los mismos y por ende el resultado de la presente investigación.

4.1 METODO DE MINIMO COSTO

El Análisis de Mínimo Costo (AMC) se utiliza en aquellas situaciones en las que las consecuencias de dos o más alternativas son equivalentes, por lo que la diferencia entre ellos se reduce a una comparación de costos (Drummond *et al.*, 1997, 3 ed). “El AMC es una forma especial de análisis coste efectividad (ACE) en la que las consecuencias de los tratamientos alternativos comparados resultan ser equivalentes” (Drummond *et al.*, 1997 p. 14, 2 ed). El ACE es aquel en el cual los costes de un proyecto o programa están relacionados con un único efecto común cuya magnitud puede variar entre programas alternativos, dando como resultados costes por unidad de efecto o efectos por unidad de costo (Drummond *et al.*, 1997, 2 ed). En consecuencia, el ACE permite escoger entre dos alternativas con el mismo costo la que tenga mayor efectividad, o escoge entre dos alternativas con la misma efectividad aquella que tiene el costo mínimo.

Figura 6 Resultados de comparar los costes incrementales y la efectividad incremental de dos alternativas

		Efectividad incremental del programa B comparado con el programa A		
		Más	Igual	Menos
Coste incremental del programa B comparado con el programa A	Más		X	
	Igual		X	
	Menos		X	

Fuente: Drummond *et al* 1997, p. 14

En la figura 6 el estudio de viabilidad realizado se reduce de un análisis coste efectividad a uno de minimización de costes. Drummond *et al* (1997, 2 ed) señala que son pocos los estudios que se diseñan desde un principio como AMC, normalmente ocurre que se diseñan inicialmente como coste efectividad y terminan simplificados, por que las consecuencias son equivalentes. Drummond *et al*, (1997, 3 ed) destaca que el AMC solo se puede aplicar en situaciones en las que se conoce previamente las consecuencias de un proyecto, sobre la base de investigaciones previas o en concordancia con la opinión profesional en la que se afirme que las alternativas son equivalentes en términos de eficacia. Adicionalmente Drummond *et al* (1997, 2 ed) explica que es justificable en los casos de salud cuando dos terapias incorporan una tecnología casi idéntica.

En el caso de Buga la situación de contaminación del río Cauca producida por poblaciones en el sur y el esquema tecnológico idéntico para las dos alternativas, permite que se aplique este método en el análisis de viabilidad. Los costos correspondientes a cada alternativa son aquellos relacionados con la construcción, ejecución y mantenimiento de las plantas y colectores, valores que se obtendrán por medio de estudios técnicos anteriores realizados por investigadores del CINARA, la CVC y Aguas de Buga. Para realizar una correcta valoración de los costes se debe medir y valorar cada ítem individualmente (Drummond *et al* 1997), es decir que tanto a la construcción ejecución y mantenimiento de las plantas y colectores se les debe hacer un análisis de asignación de costes unitarios o precios, los cuales deben tener su propio periodo de tiempo para que de esta forma se llegue al valor presente de los mismos.

Para obtener el Costo en Valor Presente (CVP) los valores son descontados con una tasa de descuento r la cual será definida posteriormente en la sección 4.4. Al obtener los CVP para la alternativa centralizada y descentralizada de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Buga, se selecciona como la opción más viable aquella que tenga un CVP menor. La magnitud de los costos en la construcción de una planta de tratamiento dependerá de la tecnología que se seleccione, los materiales necesarios para su construcción, la tubería para el transporte de las aguas residuales, el costo del terreno donde se pretenda instalar, la mano de obra necesaria para su construcción y los costos salariales del personal encargado

de la ejecución de la PTAR. La selección del esquema tecnológico es un proceso que no puede dejar de lado factores ambientales, económicos, educativos y sociales, de la población donde se pretenda instalar. En este estudio el proceso de selección del esquema tecnológico para la ciudad de Buga se encuentra explicado en la sección siguiente (4.2), donde posteriormente en la sección 4.2.1 se expone con detalle el esquema tecnológico seleccionado.

4.2 SELECCIÓN DE STAR EN LA CIUDAD DE BUGA.

Como se mencionó anteriormente, en este estudio se realizará un análisis de costos. Los costos de construcción, operación y mantenimiento de un STAR, dependen del tipo de tecnología que se seleccione. En el caso de las alternativas centralizada y descentralizada para el manejo de aguas residuales de la ciudad de Buga, se tiene como punto de partida el estudio: “selección de tecnología y predimensionamiento⁴ hidráulico del sistema de tratamiento para las aguas residuales de Buga- Seltar Buga”. Este último fue realizado por el instituto Cinara de la Universidad del Valle para la CVC en el año 2007.

Los autores (CVC y Universidad del Valle, 2007) seleccionaron el esquema tecnológico para el tratamiento de aguas residuales en Buga por medio de un proceso que consta de dos etapas. La primera etapa corresponde a la selección preliminar por medio de la metodología multibarrera y la segunda etapa corresponde al proceso de jerarquización por medio de un análisis multicriterio. En la primera etapa se consideraron los aspectos: objetivos de tratamiento; aspectos socioculturales, aspectos tecnológicos y manejo de lodos. En la segunda etapa se construyó una matriz comparativa entre las tecnologías que se seleccionaron en donde se evalúan aspectos tecnológicos, ambientales, manejo de lodos y costos.

⁴ El predimensionamiento se refiere a los cálculos iniciales que permiten estimar las magnitudes de las estructuras a diseñar. A través del predimensionamiento el diseñador obtiene las magnitudes o características de la estructura, es el punto de partida para definir además de las dimensiones la distribución de las estructuras y del sistema en general, para posteriormente afinar detalles con un cálculo más exhaustivo en la etapa de diseño.

En los objetivos de tratamiento para la ciudad de Buga realizados por los autores (CVC y Universidad del Valle, 2007) se encuentran los aspectos normativos, estándares y guías de calidad para el vertimiento de aguas residuales. Se mencionan las exigencias en la calidad del agua para reuso en cultivos y para el depósito en humedales. Con base en lo anterior se seleccionan tecnologías que tengan una eficiencia de tratamiento total del sistema del 65% al 80% (CVC y Universidad del Valle, 2007). En los aspectos socioculturales se considera la disponibilidad de recursos humanos y materiales, el acceso al centro urbano, la capacidad de gestión institucional y la cultura sobre el manejo del agua residual (CVC y Universidad del Valle, 2007).

Los aspectos tecnológicos toman en cuenta la cantidad y calidad del agua residual, los requerimientos de área versus área disponible, las características del suelo en el sitio de la planta y los requerimientos de energía. En la jerarquización de las tecnologías seleccionadas se observan variables relacionadas con la facilidad para la construcción y la flexibilidad del sistema para modular la construcción, también se toma en cuenta la complejidad de la tecnología dentro del ítem “aspectos tecnológicos”. Dentro de los aspectos ambientales se tiene en cuenta la generación de olores viendo su impacto en la vivienda más cercana. Los costos que estiman los autores (CVC y Universidad del Valle, 2007) están dados por los costos del terreno, de la obra civil, la obra hidrosanitaria, los equipos electromecánicos, la obra arquitectónica y los de operación y mantenimiento del sistema.

Por la disponibilidad de información, el estudio comparativo de las alternativas centralizada–descentralizada se hizo con base en la misma alternativa tecnológica que resultó del proceso de selección de tecnología por la aplicación del modelo SELTAR (CVC y Universidad del Valle, 2007). En este caso consiste en el esquema: tecnologico “Rejilla gruesa + Rejilla fina + Desarenador + LAAT-Laguna Anaerobia Alta Tasa + Laguna Facultativa + Lechos de Secado”, este sistema se propuso para tratar toda el agua residual de la ciudad de Buga y corresponde al esquema centralizado objeto de evaluación en este estudio.

En relación con los esquemas descentralizados se utiliza la misma alternativa tecnológica, pero se calcula y predimensiona para dos plantas de tratamiento de aguas, uno para la zona consolidada o zona norte y otro para la zona de expansión o zona sur de la ciudad de Buga. En cuanto al esquema tecnológico en la sección siguiente (4.2.1) se explica su funcionamiento y el nivel de tratamiento alcanzado, así como los contaminantes removidos, la eficiencia en la remoción, el patrón de vertimiento, entre otras características asociadas al nivel de tratamiento alcanzado (preliminar, primario, secundario o terciario).

4.2.1 ESQUEMA TECNOLÓGICO

En el tratamiento de las aguas residuales se presentan diferentes niveles de tratamiento: el primario, el secundario y el terciario. Estos niveles están relacionados con el porcentaje de remoción de contaminantes como son principalmente sólidos suspendidos, materia orgánica, nutrientes y patógenos. En el cuadro 1 Adaptado de Von Sperling. (1995); Torres (2000); Metcalf y Eddy (2003), se pueden encontrar las características de los principales niveles de tratamiento. En cuanto al tratamiento primario, este busca remover los materiales que son posibles de sedimentar, usando tratamientos físicos o físico-químicos. En algunos casos el tratamiento primario deja simplemente sedimentar las aguas residuales, y en otros más avanzados se utilizan químicos.

Siguiendo el Cuadro 1, en el tratamiento secundario se eliminan desechos y sustancias que con la sedimentación no se eliminaron, además este remueve materia orgánica principalmente. Con el tratamiento secundario se pueden remover las partículas coloidales y similares utilizando procesos fisicoquímicos o biológicos. Así mismo, antes de aplicar cualquier tratamiento es necesario realizar un acondicionamiento del agua residual y remover el material más grueso, el cual es conocido como tratamiento preliminar o cribado, donde generalmente se utiliza una combinación de rejillas y desarenador. Para alcanzar determinado nivel de tratamiento se realiza una combinación de alternativas tecnológicas conocida como esquema o tren de tratamiento. La combinación de alternativas se hace teniendo en cuenta el nivel de tratamiento deseado y la factibilidad operacional de combinar diferentes opciones tecnológicas.

Cuadro 1. Características de los principales niveles de tratamiento

Ítem	Nivel de tratamiento			
	Preliminar	Primario	Secundario	Terciario
Contaminantes removidos	Sólidos gruesos (Basuras, arenas) Grasas Acondicionamiento químico (pH)	Sólido suspendido Sedimentales Materia Orgánica Suspendida (parcialmente)	Sólidos no sedimentables Materia Orgánica. Suspendida Fina/soluble (parcialmente) Nutrientes (parcialmente) Patógenos (parcialmente)	Contaminantes específicos Materia orgánica fina y soluble (pulimento) Nutrientes Patógenos (principalmente)
Eficiencias de remoción	SS: - % DBO: 0-5% Coliformes≈0% Nutrientes≈0%	SS:60 -70 % DBO: 30-40% Coliformes30-40% Nutrientes <20%	SS:60 -99 % DBO: 60-99% Coliformes 60-99% Nutrientes10-50%	SS:> 99 % DBO: >99% Coliformes > 99,9 % Nutrientes >90%
Mecanismo predominante	Físico	Físico	Biológico o químico	Biológico o químico
Cumple patrón de vertimiento	No	No	Usualmente sí	Sí
Cumple patrón de reuso	No	No	Usualmente sí ⁵	sí ⁶
Aplicación	Aguas arriba de estaciones de bombeo Etapas inicial del tratamiento Indispensable independiente de la complejidad del tratamiento y del uso del efluente (vertimiento o reuso agrícola)	Tratamiento parcial Etapas intermedia de tratamiento, su uso depende del tipo de tratamiento posterior. Recomendable en reuso para evitar obstrucción de los sistemas de riego	Tratamiento más completo para remoción de materia orgánica y sólidos suspendidos. Para nutrientes con adaptaciones o inclusión de etapas específicas (parcialmente). Adecuada para aplicación en riego (con desinfección)	Tratamiento completo para remoción de material no biodegradables y disuelto. Remoción de nutrientes y coliformes. Principalmente para la remoción de patógenos. Sin restricción de uso para cualquier tipo de cultivo.

Fuente: Adaptado de Von Sperling. (1995); Torres (2000); Metcalf y Eddy (2003)

⁵ Según forma de nitrógeno y aprovechamiento de los cultivos

⁶ Sin restricción para cualquier tipo de cultivo (parreiras, 2005)

Para el caso del esquema tecnológico “rejilla gruesa + rejilla fina + desarenador + LAAT + laguna facultativa + lechos de secado” se tiene que además del tratamiento preliminar mencionado anteriormente se cuenta con un sistema de lagunas anaerobias alta tasa – LAAT que brindan un nivel de tratamiento primario principalmente; y las lagunas facultativas que brindan nivel de tratamiento secundario. Los lechos de secado corresponden a la alternativa tecnológica seleccionada para el manejo y tratamiento de los lodos generado en el tratamiento del agua residual, y que igualmente debe ser considerado para toda alternativa de tratamiento de aguas residuales. El cuadro 1 señala que el nivel de tratamiento secundario cumple un patrón de vertimiento y en algunos casos patrón de reuso en el riego de cultivos como la caña.

4.3 CÁLCULO DE COSTOS PARA EL STAR EN BUGA

Esta sección está compuesta por cuatro partes, contiene la información y el procedimiento realizado para hallar los costos de implementar un sistema de tratamiento de aguas residuales centralizado y descentralizado en la ciudad de Buga. Al final de este capítulo, se encuentran los costos en términos reales para las dos alternativas en un horizonte temporal de 30 años. En la sección 4.3.1 se presenta la información con la que se realiza el predimensionamiento del sistema de tratamiento para las dos alternativas, esta información corresponde a los costos del sistema de tratamiento de aguas residuales del municipio de El cerrito.

Posteriormente, en la sección 4.3.2 se presentan los cálculos de costos de construcción de la PTAR, del terreno requerido, de los emisarios finales y los costos de operación y mantenimiento para el sistema centralizado, el cual corresponde a una sola planta. De igual manera, en la sección 4.3.3 se encuentra el cálculo de costos para el sistema descentralizado que en este caso consiste en la construcción de dos PTAR. Finalmente en la cuarta sección (4.3.4) se visualizan los costos totales de ambas alternativas (centralizada y descentralizada) y se explica brevemente la forma en que los valores son descontados.

4.3.1 COSTOS DEL STAR DEL MUNICIPIO DE EL CERRITO

En relación con la estimación de los costos, se decidió utilizar los costos del sistema de tratamiento de El Cerrito⁷, cuyo diseño e implementación realizó el Instituto Cinara, utilizando la tecnología de tratamiento: Lagunas Anaerobias Alta Tasa⁸. La información de los costos totales, por habitante y por litros por segundo de este municipio (El Cerrito) se encuentra en la tabla 2. La información de El Cerrito además de utilizar el mismo tipo de alternativa tecnológica, está en la misma región y en el mismo contexto político, socioeconómico y ambiental de Buga. Los parámetros de diseño utilizados para el predimensionamiento de las dos alternativas de sistema de tratamiento de aguas residuales en Buga se presentan en la Tabla 1.

Las variables de la tabla 1 se calcularon con la proyección de los valores con base en el año 2006. Esta proyección se realizó siguiendo el estudio de CVC y Universidad del Valle (2007), en el cual utilizaron valores estimados para el año 2037. La población se calculó año por año para el periodo 2007-2037 teniendo en cuenta el indicador de crecimiento = 1,00859519 proporcionado por la secretaria de planeación municipal adscrita a la alcaldía de Guadalajara de Buga. La dotación neta (L/hab/día) se consideró de 150+ 15% por un factor climático y el coeficiente de retorno se estableció en 0,85 según el RAS (2000). El caudal residencial (QARD) se calculó para todos los años como el producto entre la población proyectada para el año en cuestión, la dotación neta y el coeficiente de retorno sobre 86.400.

⁷ El cerrito es un municipio ubicado en el departamento del Valle del Cauca, al sur occidente de Colombia. Los límites del Municipio son: al norte con los Municipios de Guacarí, Ginebra y Buga, al oriente con el Departamento de Tolima y el Municipio de Palmira, al sur el Municipio de Palmira y al occidente el Municipio de Vijos (alcaldía de El cerrito, 2013)

⁸Esta tecnología es un diseño patentado por el Profesor Miguel Peña adscrito al instituto Cinara de la Universidad del Valle y no hay muchos sistemas diseñados y mucho menos implementados con esta tecnología, así que cuando se busca en la literatura información de costos, no se encuentra información muy precisa que pueda ajustarse. Por los principios de funcionamiento esta alternativa tecnológica se puede relacionar con la tecnología UASB, sin embargo, hay diferencias y se reflejan finalmente en los costos

La cifra correspondiente a 86.400 utilizada en los cálculos de proyección es un factor de conversión para pasar de días a segundos⁹. El área de infiltración (HA) es calculado para todos los años como la población sobre la densidad media bruta total de la ciudad correspondiente a 149,34 (POT, 2000- 2012). El coeficiente de infiltración en redes de sistemas de alcantarillado se asume como 0,1 l/s según el RAS (2000). El caudal de infiltración corresponde al producto del área y el coeficiente de infiltración. El caudal no residencial (l/s) corresponde al 25% adicional al caudal residencial con base al plan maestro de acueducto y alcantarillado del sur de Buga (2003).

El caudal medio diario (l/s) es igual a la suma del caudal residencial, el no residencial y el de infiltración; para estimar el caudal máximo horario, con base en el caudal medio diario, se utiliza un factor de mayoración que considera las variaciones en el consumo de agua por parte de la población. El factor de mayoración utilizado es de 2.16, este valor se obtiene de los resultados del monitoreo de los vertimientos finales realizados el 24, 25, 28 y 29 de junio del año 2007. Finalmente El caudal máximo es calculado como la suma del caudal de infiltración, el no residencial y el residencial multiplicado por el factor de mayoración.

Los valores de la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y los sólidos suspendidos totales (SST) se midieron con base en las muestras tomadas en el monitoreo realizado en junio de 2007. Estos valores definen el contenido de materia orgánica biodegradable y sólidos que contiene el agua residual, los cuales permiten definir el tipo de tratamiento que se pueda dar al agua residual. Así mismo, la carga se calculó a partir de la carga per cápita multiplicada por el tamaño de población. Con los valores que se encuentran en la tabla 1 correspondientes a los caudales medios y máximos presentados a continuación, y los costos del sistema del cerrito ubicados en la tabla 2, se realizará el cálculo de costos totales para la construcción de las alternativas de STAR en Buga.

⁹ Un día tiene 86400 segundos

Tabla 1. Criterios de diseño utilizados para el predimensionamiento del esquema de tratamiento por zonas para la ciudad de Buga

Parámetro	Zona de expansión del sur de Buga		Zona Consolidada de Buga		Toda la ciudad de Buga	
	Año base 2007	Año de proyección 2037	Año base 2007	Año de proyección 2037	Año base 2007	Año de proyección 2037
Población (hab)	11.973	15.478	90.243	116.659	102.114	132.006
Dotación neta (L/hab/día)	170,5	170,5	170,5	170,5	170,5	170,5
Coeficiente de Retorno	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
QARD (L/s)	20,1	26	151,4	195,7	171,3	221,4
Area de Infiltración (Ha)	80,2	103,7	604	781	684	884
Coeficiente de Infiltración (L/s/Ha)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Caudal de infiltración (L/s)	8	10,4	60,4	78,1	68,4	88,4
Caudal no residencial (L/s)	25,1	32,5	26,9	26,9	51,6	51,6
Caudal medio diario (L/s)	53,2	68,8	238,7	300,7	291,3	361,4
Factor de mayoración diario	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16
Caudal Máximo (L/s)	76,5	98,9	414,3	527,7	490	618,3
DQO (mg/L)	278,08	278,08	482	468	434,5	430,6
DBO ₅ (mg/L)	151,66	151,66	261	253	235,4	232,6
SST (mg/L)	110,02	110,02	191	184	171,6	169,4
Carga DQO (Ton/d)	1,01	1,3	7,59	9,81	10,93	13,45
Carga DBO5 (Ton/d)	0,54	0,69	4,04	5,23	5,92	7,26
Carga SST (Ton/d)	0,39	0,5	2,93	3,79	4,32	5,29

Fuente: CVC y Universidad del Valle (2007) para los datos de toda la ciudad de Buga, la información de la zona de expansión y consolidada se calcularon a partir de la misma.

La información de costos del STAR del municipio de El Cerrito se encuentra en la Tabla 2. Los costos son del año 2010, y el diseño fue realizado para una población de 50900 habitantes y un caudal de 90 l/s. La información de costos se encuentra en términos totales, en litros por segundo (l/s) y por habitante (hab).

Tabla 2. Costos de construcción, por litros por segundo y por habitante para el municipio de El Cerrito.

ITEM	Total (US\$)	US\$/l/s	US\$/hab
Tratamiento preliminar	24.000	267	0,47
Estacion de bombeo	125.000	1.389	2,46
LAAT	292.000	3.244	5,74
Recoleccion y tratamiento de biogas	185.000	2.056	3,63
Laguna facultativa	389.000	4.322	7,64
Lechos de secado	38.000	422	0,75

Fuente: CVC, Cinara – Universidad del Valle. (2010)

Para facilitar el análisis, en la presente investigación se trabajará con la moneda local, por lo cual, los valores en dólares deberán expresarse en pesos colombianos. Se transformaron los valores de los costos en litros por segundo de la tabla 2 multiplicando por una tasa de cambio de 1899 pesos por dólar correspondiente al promedio de valores registrados durante todo el año 2010. Finalmente con el costo de construcción en litros por segundo expresado en pesos del año 2010, se puede proceder a calcular por medio de la relación de caudales de ambos sistemas, los costos para cada alternativa.

Tabla 3. Costos de construcción, por litros por segundo en dólares del 2010 y pesos del 2010 para el municipio de El Cerrito.

Proceso	Valor (US\$/l/s)	Valor (\$/l/s)
Tratamiento premilinar	267	506.400
Estacion de bombeo	1389	2.637.500
LAAT	3244	6.161.200
Recoleccion y tratamiento de biogas	2056	3.903.500
Laguna Facultativa	4322	8.207.900
Lechos de secado	422	801.800

Fuente: CVC, Cinara – Universidad del Valle. (2010)

4.3.2 COSTOS DEL STAR CENTRALIZADO

Los costos de construcción de la alternativa centralizada de tratamiento a evaluar se calculan a partir de los productos entre la tabla 3 y la tabla 1. Considerando el costo unitario al año 2010 y el caudal del sistema de tratamiento para toda la ciudad (zona consolidada + zona de expansión) proyectado al año 2037. El valor en (l/s) para el tratamiento preliminar y la estación de bombeo se multiplican por el caudal máximo de la tabla 1. El valor en (l/s) de la Laguna Anaerobia Alta Tasa, la laguna facultativa, los lechos de secado y de la recolección y tratamiento de biogás se multiplica por el caudal medio diario. Este sentido los valores totales de costos de construcción correspondientes a la alternativa centralizada se presentan en la última columna de la tabla 4.

Tabla 4¹⁰. Costos de construcción Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Sistema Centralizado (pesos del 2010).

Proceso	Valor (\$/l/s)	Caudal (l/s)	costo zona expansión sur + zona consolidada
Tratamiento premilinar	506.400	618,3	313.107.120
Estacion de bombeo	2.637.500	618,30	1.630.766.250
LAAT	6.161.200	361,4	2.226.657.680
Recoleccion y tratamiento de biogas	3.903.500	361,40	1.410.724.900
Laguna Facultativa	8.207.900	361,40	2.966.335.060
Lechos de secado	801.800	361,40	289.770.520
COSTO TOTAL SISTEMA DE TRATAMIENTO			8.837.361.530

Para encontrar el costo del terreno necesario en la construcción de cada PTAR, se multiplico el área requerida registrada por el precio del metro cuadrado de la zona de construcción de la planta. El Instituto Geográfico Agustín Codazzi suministró información del precio del metro cuadrado para la zona, este valor corresponde a \$22.000. Teniendo en cuenta que el área requerida para construir la PTAR del sistema centralizado es 24.969 metros cuadrados, se estimó que el costo del terreno para la alternativa centralizada es: \$549.318.000.

¹⁰ Los valores que se encuentran en la tabla 4 provienen del producto de los costes (l/s) y el caudal máximo para el caso del tratamiento preliminar y la estación de bombeo, mientras que para los demás procesos se utilizó el producto de los costes con el caudal medio.

El costo de los colectores necesarios para transportar las aguas residuales hasta la planta de tratamiento, se calcula a partir de los valores estimados en el informe "Estudios y diseños para el plan maestro de acueducto y alcantarillado de la zona sur de la ciudad de Buga. Proyección al 2021". Esta información arroja que los costos totales de tubería y obra civil para la realización de los colectores en el año 2003 son: \$2.046.646.202 para toda la ciudad.

Tabla 5. Costos de los emisarios finales del Sistema Centralizado (valores en pesos del año 2003)

ITEM	zona expansión sur + zona consolidada
obra civil	982.991.373
tubería	1.063.654.829
valor total	2.046.646.202

Debido a que los costos de construcción del esquema tecnológico corresponden al año 2010, conviene expresar todos los costos adicionales en pesos del mismo año. Teniendo en cuenta la inflación, los valores correspondientes a la realización de los colectores en el año 2010 son \$2.832.559.527 para el sistema centralizado. Finalmente la tabla 7 reúne los valores que componen los costos de construcción del STAR centralizado. El costo de construcción de la PTAR se extrae de la tabla 4. El costo del terreno se obtiene de los cálculos en la página 36 basados en la información del Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Finalmente los costos de los emisores finales se obtienen de la tabla 6.

Tabla 6. Costos totales de los emisarios finales para los años 2003- 2010 del Sistema Centralizado

AÑO	zona expansión sur + zona consolidada
2003	2.046.646.202
2004	2.159.211.743
2005	2.263.933.513
2006	2.365.357.734
2007	2.499.946.589
2008	2.691.692.492
2009	2.745.526.342
2010	2.832.559.527

Tabla 7. Costos totales de construcción para la alternativa de tratamiento centralizada.

ITEM	zona expansión sur + zona consolidada
SISTEMA DE TRATAMIENTO	8.837.361.530
TERRENO	549.318.000
EMISARIO FINAL	2.832.559.527
COSTO TOTAL	12.219.239.057

En el cálculo de los costos de operación y mantenimiento (O&M) se realiza adaptando los costos de la tabla 1 de los anexos, que corresponde a información obtenida para un caudal de 361 litros/segundo. Esta información corresponde a un sistema de tratamiento conformado por UASB y Laguna Facultativa Convencional, teniendo en cuenta la similitud tanto en el funcionamiento de la tecnología UASB a las LAAT como las actividades de O&M de este tipo de sistemas. Se obtiene un valor de \$446.233.870 en costos de operación y mantenimiento anual de una planta de tratamiento con caudal de 361 l/s excluyendo los gastos de personal. Este valor se utiliza para proyectar los gastos de Operación y Mantenimiento del sistema centralizado para la ciudad de Buga, que para un caudal de 361.4 l/s corresponden a \$446.728.312.

Debido a que los costos de personal no dependen del caudal medio diario (l/s), no son estimados por medio de esta variable. La alternativa centralizada contiene en sus gastos de personal los salarios mensuales de: un administrador, tres vigilantes, una secretaria, un técnico químico, un técnico electricista y tres operarios. Tomando la información de la tabla 1 de los anexos se obtiene que la alternativa centralizada tenga como gastos anuales de personal \$146.496.000. Al sumar los costos de operación y mantenimiento se obtiene un costo mensual de \$593.244.312 para el sistema centralizado. Finalmente los costos son proyectados a 30 años teniendo en cuenta la reposición de las bombas que se realiza el año 10 y 19 del proyecto. Se calculan 8 bombas para la alternativa centralizada. Cada bomba tiene un precio unitario de \$ 62.199.200.

4.3.3 COSTOS DEL STAR DESCENTRALIZADO

Los costos de construcción de las alternativas de tratamiento a evaluar se calculan a partir de los productos entre el costo unitario y el caudal de diseño (ver valores en la tabla 3 y la tabla 1). El valor en (l/s) para el tratamiento preliminar y la estación de bombeo se multiplican por el caudal máximo de la tabla 1. El valor en (l/s) de la Laguna Anaerobia Alta Tasa, la laguna facultativa, los lechos de secado y de la recolección y tratamiento de biogás se multiplica por el caudal medio diario. Este sentido los valores totales de costos para la zona consolidada y de expansión se encuentran en la tabla 8.

Tabla 8. Costos de construcción por Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Sistema Descentralizado (pesos del 2010).

Proceso	Valor (\$/l/s)	zona expansión sur		zona consolidada	
		Caudal (l/s)	costo	Caudal (l/s)	costo
Tratamiento premilinar	506.400,00	98,90	50.082.960	527,70	267.227.280
Estacion de bombeo	2.637.500,00	98,90	260.848.750	527,70	1.391.808.750
LAAT	6.161.200,00	68,80	423.890.560	300,70	1.852.672.840
Recoleccion y tratamiento de	3.903.500,00	68,80	268.560.800	300,70	1.173.782.450
Laguna Facultativa	8.207.900,00	68,80	564.703.520	300,70	2.468.115.530
Lechos de secado	801.800,00	68,80	55.163.840	300,70	241.101.260
COSTOS TOTALES			1.623.250.430		7.394.708.110

Para encontrar el costo del terreno necesario en la construcción de cada PTAR, se multiplico el área requerida por cada Planta de tratamiento por el precio del metro cuadrado de la zona de construcción de la planta. El Instituto Geográfico Agustín Codazzi suministró información del precio del metro cuadrado para la zona, este valor corresponde a \$22.000. Teniendo en cuenta que el terreno requerido para la PTAR de la zona de expansión sur es de 6.840 metros cuadrados y el de la zona consolidada es de 24.262 metros cuadrados, se estimó que el costo del terreno para la alternativa descentralizada es \$684.244.000. Este valor está compuesto por \$150.480.000 para la compra del terreno de la planta ubicada en la zona sur, y \$533.764.000 del costo del terreno para la planta ubicada en la zona consolidada.

El costo de los colectores que transportarán el agua residual hasta las dos plantas de tratamiento se calcula a partir de los valores estimados en el informe "Estudios y diseños para el plan maestro de acueducto y alcantarillado de la zona sur de la ciudad de Buga. Proyección al 2021". A partir de esta información se obtiene que los costos totales de tubería y obra civil para la realización de los colectores en el año 2003 son de \$518.424.232 en la zona de expansión sur y \$450.512.195 para la zona consolidada.

Tabla 9. Costos de los emisarios finales del Sistema Descentralizado (valores en pesos del año 2003)

ITEM	zona expansión sur	zona consolidada
obra civil	231.837.394	150.390.005
tubería	286.586.838	300.122.190
valor total	518.424.232	450.512.195

Como se realizó en el cálculo del sistema centralizado, los valores de costos expresados en un año diferente al 2010, son ajustados para poder realizar el cálculo con valores comparables. Teniendo en cuenta la inflación, los valores al año 2010 correspondientes a la realización de los colectores para el sistema descentralizado es \$1.341.008.575, donde \$717.499.437 corresponde al costo del emisario final de la PTAR ubicada en el sur de la ciudad y \$623.509.138 al emisario de la PTAR ubicada en la zona consolidada.

Tabla 10. Costos totales de los emisarios finales para los años 2003- 2010 del Sistema Descentralizado

AÑO	zona expansión sur	zona consolidada
2003	518.424.232	450.512.195
2004	546.937.565	475.290.366
2005	573.464.037	498.341.948
2006	599.155.225	520.667.668
2007	633.247.158	550.293.658
2008	681.817.215	592.501.182
2009	695.453.559	604.351.205
2010	717.499.437	623.509.138

Finalmente la tabla 11 reúne los valores que componen los costos de construcción de las dos Plantas de Tratamiento de agua correspondientes al STAR descentralizado, el valor del terreno requerido y los costos de los emisores. El costo de construcción de las plantas de tratamiento se extrae de la tabla 8. El costo del terreno se obtiene de los cálculos en la hoja 39 basados en la información del Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Finalmente los costos de los emisores finales se obtienen de la tabla 10.

Tabla 11. Costos totales de construcción para las dos plantas de tratamiento del Sistema Descentralizado.

ITEM	zona expansión sur	zona consolidada
SISTEMA DE TRATAMIENTO	1.623.250.430	7.394.708.110
TERRENO	150.480.000	533.764.000
EMISARIO FINAL	717.499.437	623.509.138
COSTO TOTAL	2.491.229.867	8.551.981.248

En el cálculo de los costos de operación y mantenimiento (O&M) se realiza adaptando los costos de la tabla 1 de los anexos. Teniendo en cuenta que para un sistema de tratamiento con un caudal de 361 l/s los costos de operación y mantenimiento anual sin gastos de personal corresponden a \$446.233.870, se proyecta que para un caudal de 68,8 (l/s) para la PTAR de la zona de expansión y 300,7 (l/s) para la PTAR de la zona consolidada. Los costos de operación y mantenimiento son \$85.044.017 (zona sur) y \$371.696.745 (zona norte).

La alternativa descentralizada cuenta con mayor número de personal que la centralizada: 1 administrador, seis vigilantes, una secretaria, dos ingenieros químicos, dos ingenieros electricistas y seis operadores. De esta forma se obtiene que los gastos anuales de personal son de \$146.496.000 para la PTAR de la zona consolidada, y \$107.136.000 para la zona sur. Este último valor de costos de personal se debe a que el personal administrativo (secretaria y administrador) está adscrito a un sistema y por lo tanto no se replican los costos para las dos plantas del sistema de tratamiento descentralizado.

Al sumar los costos de operación y mantenimiento (los que excluyen los gastos de personal y los relacionados a los salarios) se obtiene un costo mensual de 192.180.017 y 518.192.744 para la PTAR zona de expansión y consolidada respectivamente. Finalmente los costos son proyectados a 30 años teniendo en cuenta la reposición de las bombas que se realiza en año 10 y 19 del proyecto. Se calculan 7 bombas para la alternativa descentralizada, 4 bombas para la zona consolidada y 3 bombas para la zona de expansión. Cada bomba tiene un precio unitario de \$ 62.199.200.

4.3.4 COSTOS TOTALES DE LAS ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA CIUDAD DE BUGA

En la tabla 2 de los anexos se encuentran consolidados los costos calculados en la sección anterior, la tabla posee tres columnas debido a que las dos primeras corresponden a las plantas de tratamiento del sistema descentralizado. El costo correspondiente al año 0 no incluye los costos de O&M por ser el año de construcción. En la tabla se observa que los costos en el año 0 de la planta del sistema centralizado son mayores que el de la PTAR de la zona sur y la PTAR de la zona consolidada. Incluso, el costo del sistema centralizado en el año 0 (\$12. 219.239.057) es mayor que el costo del sistema descentralizado compuesto por las dos plantas de tratamiento (\$11.043.211.115). En lo referente a los costos de operación y mantenimiento, el sistema descentralizado es más costoso debido al mayor número de personal requerido para su funcionamiento.

Los costos de construcción representados en el año 0 son superiores en el STAR centralizado debido a que los costos de los emisarios o colectores son mayores en este sistema. Al analizar los costos de cada alternativa de manera individual, se encuentra que a excepción del valor del colector, el sistema descentralizado tiene valores más altos en relación al sistema centralizado. En este caso, el costo del colector es de \$1.341.008.575 para el sistema descentralizado y \$2.832.559.527 para el centralizado. El gran monto que representa el valor de los colectores del STAR centralizado es una desventaja que se transforma en unos costos de construcción mayores para esta alternativa.

La gran diferencia entre los valores de los colectores de las dos alternativas se debe a que en el caso centralizado el agua residual generada en la zona sur y de expansión de la ciudad de Buga debe ser transportada por medio de un colector. Este colector debe atravesar el río Guadalajara hasta la PTAR en sentido sur- norte. Adicionalmente al valor de los colectores, la construcción del mismo implica grandes profundidades de excavación para poder transportar el agua por gravedad.

En lo referente al flujo de costos los valores de operación y mantenimiento se replican a lo largo del tiempo (a excepción de cada 10 años) debido a que se encuentran en términos reales. Utilizar cifras en valores reales o precios constantes indica que no se tiene en cuenta el aumento generalizado de los precios o inflación ocurrida en el periodo. Cuando las cantidades de costos y beneficios de un proyecto se expresan en términos nominales (teniendo en cuenta la inflación), es difícil diferenciar que cantidades de beneficios o costos aumentan realmente o si solo se deben a aumentos en los precios. Es decir que se puede llegar a pensar que el sistema evaluado tiene costos crecientes debido a sus características tecnológicas. Para el caso de Buga los costos de operación y mantenimiento para ambos sistemas se replican a lo largo del tiempo: 593.224.312 para el sistema centralizado y 710.372.761 para el descentralizado¹¹.

Si los costos consolidados en la tabla 2 de los anexos hubiesen sido ajustados por la inflación presentada en los años 2011-2013, y la esperada de los años posteriores, se obtendrían tres series con costos de operación y mantenimiento crecientes a lo largo del tiempo, con un ritmo mayor o menor de acuerdo a la magnitud de la inflación. Suponiendo que el tamaño de la población no cambia y que el servicio prestado es exactamente el mismo, los valores incrementales podrían expresar que la función de costos de los sistemas es creciente. Esto último implica que el lector puede tener confusión al no conocer si los datos aumentan por la inflación o aumentan porque realmente al paso del tiempo la operación del sistema es más costosa.

¹¹ Nótese que el sistema descentralizado está compuesto por la PTAR de la zona de expansión sur (primera columna) y la zona consolidada (segunda Columna). Adicionalmente es importante resaltar que estos datos se replican durante todos los años a excepción del año 10 y año 19 del proyecto debido a la reposición de las bombas que ya se mencionó con anterioridad.

Para evitar confusiones por la forma en que vienen presentados los costos, las series están en términos reales, por lo cual se asume que a lo largo del tiempo los precios permanecen constantes. Boardman, Greenberg, Vining y Weimer (2001) resaltan que “Para los proyectos públicos es usualmente más sencillo e intuitivamente más atractivo, expresar todos los beneficios y costos en dólares reales y descontar usando una tasa real”. En este sentido es importante también definir qué tipo de tasa de descuento será usada para expresar todos los costos que se dan en 30 años en un valor que represente el valor actual de los mismos. Al escoger la tasa con la que se descuenta se debe tener cuidado para asegurar que las medidas de los costos son consistentes con las unidades de medida de la tasa de descuento (Boardman *et al.*, 2001). Esto implica que si los costos son medidos con valores nominales se deben descontar con una tasa nominal y si son reales con una tasa real.

4.4 DESCUENTO DE FLUJO DE COSTOS

Para descontar los costos de la tabla 2 de los anexos convendría utilizar la “tasa de descuento aplicable a los servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado” que presenta la comisión de regulación de agua potable (CRA) y saneamiento Básico junto con el Ministerio de Vivienda. En este documento de trabajo se proponen dos tasas de descuento para diferente grupo de ciudades. Las tasas se hallaron por medio de la metodología “costo promedio ponderado del capital (WACC) el cual se calcula como el promedio ponderado de la totalidad de las fuentes de financiación utilizadas.

Para aquellos sistemas prestadores del servicio que tienen 100 mil o más suscriptores, incluyendo las ciudades de: Armenia, Manizales, Montería, Neiva, Pasto, Popayán, Santa Marta, Sincelejo, Tunja, Valledupar y Villavicencio, se propone una tasa del 11, 49%. La tasa del 11.97% es para ciudades que tengan entre 5.001 y 100.000 suscriptores, exceptuando las ciudades nombradas en el primer grupo. La Ecuación 1 muestra el cálculo que emplea la CRA (2013) para hallar el Costo promedio del Capital después de impuestos, WACC.

$$WACC = W_d K_d (1 - t) + W_e K_e \quad (1)$$

Donde W_d es el porcentaje de la deuda, K_d es el costo de la deuda después de impuestos; t es la tasa de impuesto nominal; W_e es el porcentaje del patrimonio; y K_e es el costo del patrimonio o equity. El costo de la deuda K_d es calculado por el cociente entre los intereses y la deuda, lo cual implica que es el rendimiento que se debe pagar a los acreedores. La CRA (2013) selecciona de los estados financieros reportados al Sistema Único de Información de Servicios Públicos (SUI) las cuentas 5801 para la variable “intereses”, mientras que utiliza las cuentas 22 y 23 para la variable “deuda”.

$$K_e = R_f + \beta(R_m - R_f) + R_p \quad (2)$$

El costo del patrimonio K_e es calculado con las variables: Tasa libre de riesgo donde el inversionista conoce el rendimiento esperado de un activo financiero durante un periodo de maduración del mismo; la prima de riesgo de mercado que demandan los inversionistas por invertir en un portafolio con activos riesgosos $R_m - R_f$; el valor de riesgo país R_p ; y el beta apalancado, este último mide la sensibilidad de sistema de tratamiento de agua con respecto a los movimientos del mercado accionario, β . Finalmente con este método se concluye que la tasa de descuento que se debería usar para la ciudad de Buga es de 11.97%¹², esto se debe a que la ciudad poseía 29.629 suscriptores en el servicio de acueducto y 29.005 en el servicio de alcantarillado en el año 2011 (Guadalajara de Buga, 2011).

Tomando como punto de partida la tasa de descuento del 11,97% propuesta por la CRA (2013) y aplicando la ecuación 3 para descontar los valores de la tabla 2 de los anexos, se encuentra que el VPN de los costos del sistema centralizado es de 17.207.161.532, mientras que el del sistema descentralizado es 16.945.606.832¹³. Esto implica que con una tasa de 11.97% es más viable implementar un sistema descentralizado para el tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Buga.

$$CVP = \sum_{n=0}^{30} c_n(1+r)^{-n} = c_0 + \frac{c_1}{(1+r)} + \frac{c_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{c_{35}}{(1+r)^{30}} \quad (3)$$

¹² Para más detalles del cálculo remitirse a CRA (2013).

¹³ En la tabla 3 y tabla 4 de los anexos se encuentra de manera precisa y detallada el procedimiento de descuento de los costos con una tasa de 11,97%

Para realizar un análisis de sensibilidad se debe variar sistemáticamente cada parámetro sobre el cual se tiene incertidumbre (Boardman *et al.*, 2001). Si al realizar múltiples variaciones los resultados son robustos (se mantiene una alternativa viable sobre la otra) se puede tener una mayor confianza en el resultado del estudio. En este caso el análisis de sensibilidad se realizó con pequeñas variaciones del 2 %. El VPN se calculó para las tasas correspondientes a: 5.97%, 7.97%, 9.97%, 11.97%, 13.97% y 15.97%.

Tabla 12. Valor Presente Neto de los costos de dos alternativas en la ciudad de Buga¹⁴.

r= 5.97%		r= 7.97%	
Centralizado	Descentralizado	Centralizado	Descentralizado
20.750.972.922	21.116.593.835	19.204.162.922	19.295.590.230
r= 9.97%		r= 11.97%	
Centralizado	Descentralizado	Centralizado	Descentralizado
18.065.414.440	17.955.466.980	17.207.161.532	16.945.606.832
r= 13.97%		r= 15.97%	
Centralizado	Descentralizado	Centralizado	Descentralizado
16.545.972.341	16.167.602.092	16.026.180.949	15.555.858.026

Se puede observar en la tabla 12 que con bajas tasas de descuento el sistema descentralizado tiene mayor VPN de costos, lo que implica que es más rentable implementar un sistema centralizado. Sin embargo, al aumentar la tasa de descuento el sistema descentralizado se convierte en más favorable debido a que el valor presente neto de sus costos es más bajo que el del centralizado. Esta situación se presenta debido a que el flujo de fondos es diferente para las dos alternativas. Las tasas de descuento bajas no favorecen los proyectos que presentan altos costos en periodos lejanos ya que el peso que les asigna es aproximadamente igual a 1. Lo anterior significa que no existe una disminución muy significativa del valor de los costos posteriores al año en el que se inicia el proyecto.

¹⁴ En la tabla 5 y 6 de los anexos se encuentra el valor presente por año del flujo de fondos de la alternativa centralizada y descentralizada para las tasas de descuento r= 5.97%, 7.97%, 9.97%, 11.97%, 13.97% y 15.97%

De manera contraria las tasas de descuento altas le dan un menor peso a los costos que ocurren en el futuro, si la tasa es excesivamente alta, los costos muy lejanos se aproximarán a 0, lo que implica que solo los costos de los primeros periodos definirán la viabilidad del proyecto. La viabilidad de la alternativa descentralizada frente a la centralizada con una tasa de descuento mayor o igual a 9,97% se debe a que los costos de construcción son mayores en el STAR centralizado. Este mayor monto en los costos es producido por la construcción de un colector que lleve las aguas residuales de la zona sur de expansión hasta el sitio de la PTAR. Si se analizan los flujos de fondos¹⁵, se observa que los costos de O&M de la alternativa descentralizada son mayores que los de la PTAR que trataría las aguas residuales de toda la ciudad.

En conclusión, las tasas de descuento bajas (menor a 9,97%) ponderan de igual manera todos los costos del flujo de fondos (incluyendo los de O&M), mientras que las tasas de descuento altas ponderan en mayor medida los costos iniciales que corresponden a los costos de construcción de los STAR. Teniendo en cuenta que la tasa que se debe aplicar por ley para estos proyectos es 11,97% y la calculada y sugerida por el DNP (2013) es del 12%, la alternativa más viable es el establecimiento de un STAR descentralizado en la ciudad de Buga.

¹⁵ Los flujos de fondos se pueden observar en la tabla 2 de los anexos. El mayor detalle de los flujos de fondos se puede encontrar en la tabla 3 para el sistema descentralizado y en la tabla 4 para el centralizado.

5. CONCLUSIONES

Con esta investigación se buscó determinar entre dos alternativas de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Buga, cual es más viable económicamente. Las alternativas son implementar un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales centralizado o uno descentralizado. El sistema descentralizado concuerda nuevas perspectivas sobre el manejo del agua, donde se busca mayores niveles de descontaminación y reuso del recurso hídrico. La descentralización en Buga consiste en establecer dos Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, una en la zona norte y otra en la sur de la ciudad. El método usado consistió en un análisis de mínimo costo (AMC) debido a que los efectos en el medio ambiente con la implementación de cada alternativa no difieren sustancialmente.

En Colombia existe una gran cantidad de ríos contaminados por los vertimientos de aguas residuales de los diferentes municipios que atraviesan. Frente a la problemática de la contaminación de las fuentes hídricas en el país y en el mundo se han implementado sistemas de tratamiento de aguas residuales. Estos sistemas convencionalmente se han diseñado de tal forma que una planta cubra la mayor parte de la población posible. Sin embargo, han surgido nuevas perspectivas ante este manejo, una de ellas es la implementación de los sistemas descentralizados, los cuales poseen múltiples ventajas entre mayor sea el grado de desagregación que posee.

En este trabajo se demostró que para el caso de la ciudad de Buga el sistema descentralizado de manejo de aguas residuales es más conveniente, por lo menos en términos de costos de construcción de la planta de tratamiento y de los emisarios finales. Al realizar el análisis de sensibilidad se observa que para valores bajos de la tasa de descuento es más viable un sistema centralizado debido a la distribución de los costos en el flujo de fondos. Sin embargo, el Valor Presente Neto de ambas alternativas es muy similar, por lo que un factor de decisión que puede favorecer al sistema descentralizado son los múltiples beneficios que teóricamente poseen y que los sistemas convencionales no.

A pesar de que este análisis no cuantificó los impactos positivos que podrían tener estos sistemas, la evidencia demuestra que en ausencia de los mismos sigue siendo más rentable un sistema descentralizado. Aunque el impacto ambiental en el río Cauca con la implementación de uno u otro sistema en Buga es mínimo, fijar este nuevo tipo de sistema permitirá en un futuro generar impactos positivos con la transferencia de tecnología a otros municipios del departamento. Al implementarse sistemas descentralizados en todos los municipios que actualmente no poseen un tipo de tratamiento, el impacto positivo en el río Cauca será mucho mayor que el que se generaría con sistemas centralizados.

La transferencia de tecnología ha sido caracterizada como un proceso en el cual se transfieren técnicas y conocimientos a un nuevo contexto. “Cuando la tecnología es llevada a otro contexto, el lograr su adecuada adaptación depende de las similitudes, los recursos, el conocimiento disponible, la experiencia y las facilidades existentes en este nuevo ámbito” (Quiroga y Visscher., 1997). Por ello, implementar un sistema descentralizado en Buga facilitará los procesos de transferencia de tecnología de estos sistemas innovadores hacia los demás municipios del Valle del Cauca. Sin embargo, en la actualidad la implementación de los sistemas de tratamiento de aguas responde a decisiones de política que en la mayoría de los casos tienen tendencia a escoger alternativas que hayan funcionado con éxito en el pasado como son los sistemas centralizados, antes de asumir el riesgo de innovar

Se deja como recomendación para futuros estudios, realizar una evaluación costo beneficio de todas las externalidades que potencializan aún más la implementación de esquemas descentralizados en todos los municipios que contaminan el río Cauca. Los beneficios que se podrían incluir con un estudio que abarque todos estos municipios serían: el potencial de reuso, la minimización de impactos en los cuerpos hídricos gracias a la distribución de las descargas y la distribución del riesgo. Es importante destacar que la realización de un estudio con todos los municipios debe incluir los aspectos sociales teniendo en cuenta que los esquemas descentralizados podrían generar una disminución de la tasa de desempleo en estas poblaciones, más apropiación de este tipo de sistemas y más conciencia ambiental.

ANEXOS TABLAS

Tabla 1. Costos alternativa UASB -laguna facultativa convencional - lechos de secado (pesos del 2010)

EGRESOS	un	Dedicación	cant	Vr/unidad	Vr/mes	Vr/año
Personal admin. calif. 1 administrador	d	1	1	2.400.000	2.400.000	28.800.000
Personal de vigilancia	d	3	3	688.000	2.064.000	24.768.000
Personal admin. no calif. 1 secretaria	d	1	1	880.000	880.000	10.560.000
Papelería	usuario	-	33.270	500	16.635.000	199.620.000
Servicio de agua	Fijo	-	1	50.000	50.000	600.000
Servicio de energía eléctrica	Fijo	-	1	70.000	70.000	840.000
Análisis de laboratorio/año	un	-	12	350.000	350.000	4.200.000
Personal op. calif. 1 Tecn. químico	d	1.00	1	2.400.000	2.400.000	28.800.000
Personal op. calif. 1 Tecn. electric.	d	1.00	1	2.400.000	2.400.000	28.800.000
Personal op. no calif. operadores	d	1.00	3	688.000	2.064.000	24.768.000
Compra de insumos de aseo	un		1	50.000	50.000	600.000
Mantenimiento bombas y válvulas/año	un	-	1	24.879.680		24.879.680
Mantenimiento equipo de bombeo de lodos	un	-	1	0		0
Energía bombeo agua cruda	kw /hora	-	29873,8	334	9.977.849	119.734.190
Energía bombeo agua tratada	kw /hora	-	0.0	334	0	0
Energía bombeo lodos	kw /hora	-	0.0	334	0	0
Retiro de lodos primarios lagunas	horas	-	0.0	250.000		0
Transporte de lodos sitio final	vj	-	114	70.000	7.980.000	95.760.000
Transporte de material podado	vj	-	0.0	30.000	0	0

La información de la tabla fue suministrada por el ingeniero Alexander Aponte del Instituto CINARA de la Universidad del Valle Cali- Colombia.

Tabla 2. Costos totales por año de las dos alternativas de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Buga.

Año	PTAR zona expansión Sur	PTAR zona consolidada	Sistema centralizado
0	2.491.229.867	8.551.981.248	12.219.239.057
1	192.180.017	518.192.744	593.224.312
2	192.180.017	518.192.744	593.224.312
3	192.180.017	518.192.744	593.224.312
4	192.180.017	518.192.744	593.224.312
5	192.180.017	518.192.744	593.224.312
6	192.180.017	518.192.744	593.224.312
7	192.180.017	518.192.744	593.224.312
8	192.180.017	518.192.744	593.224.312
9	192.180.017	518.192.744	593.224.312
10	378.777.617	766.989.544	1.090.817.912
11	192.180.017	518.192.744	593.224.312
12	192.180.017	518.192.744	593.224.312
13	192.180.017	518.192.744	593.224.312
14	192.180.017	518.192.744	593.224.312
15	192.180.017	518.192.744	593.224.312
16	192.180.017	518.192.744	593.224.312
17	192.180.017	518.192.744	593.224.312
18	192.180.017	518.192.744	593.224.312
19	378.777.617	766.989.544	1.090.817.912
20	192.180.017	518.192.744	593.224.312
21	192.180.017	518.192.744	593.224.312
22	192.180.017	518.192.744	593.224.312
23	192.180.017	518.192.744	593.224.312
24	192.180.017	518.192.744	593.224.312
25	192.180.017	518.192.744	593.224.312
26	192.180.017	518.192.744	593.224.312
27	192.180.017	518.192.744	593.224.312
28	192.180.017	518.192.744	593.224.312
29	192.180.017	518.192.744	593.224.312

Tabla 3. Proyección y Valor Presente Neto de los costos del Sistema Descentralizado de Aguas Residuales para la ciudad de Buga.
r=11,97

	AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Planta de tratamiento zona de expansión sur	Tratamiento preliminar	50.082.960														
	Estación de bombeo	260.848.750														
	LAAT	423.890.560														
	Recolección y tratamiento de biogas	268.560.800														
	Laguna facultativa	564.703.520														
	Lechos de secado	55.163.840														
	Colector	717.499.437														
	Costo Terreno	150.480.000														
Planta de tratamiento zona Consolidada	Costo operación y mantenimiento		192.180.017	192.180.017	192.180.017	192.180.017	192.180.017	192.180.017	192.180.017	192.180.017	192.180.017	378.777.617	192.180.017	192.180.017	192.180.017	192.180.017
	Tratamiento preliminar	267.227.280														
	Estación de bombeo	1.391.808.750														
	LAAT	1.852.672.840														
	Recolección y tratamiento de biogas	1.173.782.450														
	Laguna facultativa	2.468.115.530														
	Lechos de secado	241.101.260														
	Colector	623.509.138														
COSTO SISTEMA DESCENTRALIZADO POR AÑOS	Costo Terreno	533.764.000														
	Costo operación y mantenimiento		518.192.744	518.192.744	518.192.744	518.192.744	518.192.744	518.192.744	518.192.744	518.192.744	518.192.744	766.989.544	518.192.744	518.192.744	518.192.744	518.192.744
COSTO SISTEMA DESCENTRALIZADO POR AÑOS		11.043.211.115	710.372.762	710.372.762	710.372.762	710.372.762	710.372.762	710.372.762	710.372.762	710.372.762	710.372.762	1.145.767.162	710.372.762	710.372.762	710.372.762	710.372.762
VALOR PRESENTE NETO POR AÑO		11.043.211.115	634.431.331	566.608.316	506.035.827	451.938.758	403.624.862	360.475.897	321.939.713	287.523.186	256.785.914	369.895.961	204.817.868	182.922.093	163.367.056	145.902.524
Planta de tratamiento zona de expansión sur	AÑO	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
	Tratamiento preliminar															
	Estación de bombeo															
	LAAT															
	Recolección y tratamiento de biogas															
	Laguna facultativa															
	Lechos de secado															
	Colector															
Planta de tratamiento zona Consolidada	Costo Terreno															
	Costo operación y mantenimiento	192.180.017	192.180.017	192.180.017	192.180.017,3	378.777.617	192.180.017,3	192.180.017,3	192.180.017,3	192.180.017,3	192.180.017,3	192.180.017,3	192.180.017,3	192.180.017,3	192.180.017,3	192.180.017,3
	Tratamiento preliminar															
	Estación de bombeo															
	LAAT															
	Recolección y tratamiento de biogas															
	Laguna facultativa															
	Lechos de secado															
COSTO SISTEMA DESCENTRALIZADO POR AÑOS	Colector															
	Costo Terreno															
COSTO SISTEMA DESCENTRALIZADO POR AÑOS	Costo operación y mantenimiento	518.192.744	518.192.744	518.192.744	518.192.744	766.989.544	518.192.744	518.192.744	518.192.744	518.192.744	518.192.744	518.192.744	518.192.744	518.192.744	518.192.744	518.192.744
	Costo operación y mantenimiento	710.372.762	710.372.762	710.372.762	710.372.762	1.145.767.162	710.372.762	710.372.762	710.372.762	710.372.762	710.372.762	710.372.762	710.372.762	710.372.762	710.372.762	710.372.762
VALOR PRESENTE NETO POR AÑO		130.305.014	116.374.934	103.934.031	92.823.105	133.710.184	74.037.669	66.122.773	59.054.008	52.740.920	47.102.724	42.067.272	37.570.127	33.553.744	29.966.727	26.763.175
TOTAL VPN DE LOS COSTOS		16.945.606.832														

Tabla 4. Proyección y Valor Presente Neto de los costos del Sistema Centralizado de Aguas Residuales para la ciudad de Buga.
r=11,97

	AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Planta de tratamiento zona de expansión sur	Tratamiento preliminar	313.107.120														
	Estacion de bombeo	1.630.766.250														
	LAAT	2.226.657.680														
	Recoleccion y tratamiento de biogas	1.410.734.900														
	Laguna facultativa	2.966.335.060														
	Lechos de secado	289.770.520														
	Colector	2.832.559.527														
	Costo Terreno	549.318.000														
	costo operación y mantenimiento		593.224.312	593.224.312	593.224.312	593.224.312	593.224.312	593.224.312	593.224.312	593.224.312	593.224.312	1.090.817.912	593.224.312	593.224.312	593.224.312	593.224.312
	COSTO SISTEMA CENTRALIZADO POR AÑOS	12.219.239.057	593.224.312	593.224.312	593.224.312	593.224.312	593.224.312	593.224.312	593.224.312	593.224.312	593.224.312	1.090.817.912	593.224.312	593.224.312	593.224.312	593.224.312
	VALOR PRESENTE NETO POR AÑO	12.219.239.057	529.806.477	473.168.239	422.584.834	377.408.979	337.062.587	301.029.372	268.848.238	240.107.384	214.439.032	352.156.313	171.041.100	152.756.185	136.425.993	121.841.559
Planta de tratamiento zona de expansión sur	AÑO	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
	Tratamiento preliminar															
	Estacion de bombeo															
	LAAT															
	Recoleccion y tratamiento de biogas															
	Laguna facultativa															
	Lechos de secado															
	Colector															
	Costo Terreno															
	costo operación y mantenimiento	593.224.312	593.224.312	593.224.312	593.224.312	1.090.817.912	593.224.312	593.224.312	593.224.312	593.224.312	593.224.312	593.224.312	593.224.312	593.224.312	593.224.312	593.224.312
	COSTO SISTEMA CENTRALIZADO POR AÑOS	593.224.312	593.224.312	593.224.312	593.224.312	1.090.817.912	593.224.312	593.224.312	593.224.312	593.224.312	593.224.312	593.224.312	593.224.312	593.224.312	593.224.312	593.224.312
	VALOR PRESENTE NETO POR AÑO	108.816.253	97.183.400	86.794.141	77.515.532	127.297.647	61.828.025	55.218.385	49.315.338	44.043.350	39.334.856	35.129.906	31.374.381	28.020.355	25.024.877	22.349.627
TOTAL VPN DE LOS COSTOS		17.207.161.532														

Tabla 5. Valor presente neto del flujo de fondos por año para la alternativa descentralizada de aguas residuales para la ciudad de Buga.

r= 5,97%, 7,97%, 9,97%, 11,97%, 13,97% y 15,97%.

TSD= 5,97%	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	11043211115	670352705	632587247	596949369	563319212	531583667	501635998	473375482	446707070	421541068	641603948	375382501	354234690	334278276	315446142
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
	297674947	280904923	265079667	250145954	380733086	222755078	210205793	198363492	187188348	176642774	166691303	157300466	148438677	140076131	132184705
	VPN de los costos	21.116.593.835													
TSD= 7,97%	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	11043211115	657935317	609368637	564386993	522725751	484139808	448402156	415302544	384646238	356252884	532188343	305599181	283040827	262147658	242796757
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
	224874277	208274777	192900599	178661294	266893161	153258395	141945351	131467399	121762896	112774749	104450077	96739907	89598876	82984974	76859289
	VPN de los costos	19.295.590.230													
TSD= 9,97%	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	11043211115	645.969.593	587.405.286	534.150.483	485.723.818	441.687.568	401.643.692	365.230.237	332.118.066	302.007.880	442.949.403	249.729.487	227.088.740	206.500.627	187.779.055
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
	170.754.802	155.273.985	141.196.677	128.395.632	188.315.512	106.169.996	96.544.508	87.791.678	79.832.389	72.594.697	66.013.183	60.028.356	54.586.120	49.637.283	45.137.113
	VPN de los costos	17.955.466.980													
TSD=11,97%	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	11043211115	634431331	566608316	506035827	451938758	403624862	360475897	321939713	287523188	256785914	369895961	204817868	182922093	163367056	145902524
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
	130305014,1	116374934,4	103934030,9	92823105,23	133710183,6	74037668,91	66122772,98	59054008,2	52740920,07	47102724,01	42067271,6	37570127,35	33553744,17	29966726,96	26763174,92
	VPN de los costos	16.945.606.832													
TSD= 13,97%	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	11043211115	623298027	546896576	479860117	421040728	369431190	324147750	284414977	249552494	218963318	309878103	168573875	147910744	129780419	113872440
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
	99914398,11	87667279,21	76921364,58	67492642,43	95515961,93	51960740,92	45591595,09	40003154,41	35099723,1	30797335,35	27022317,58	23710026,83	20803743,82	18253701,7	16016233,83
	VPN de los costos	16.167.602.092													
TSD= 15,97%	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	11043211115	612548730	528195852	455459043	392738676	338655408	292019839	251806363	217130605	187229978	260399292	139214372	120043435	103512490	89257990
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
	76966447,8	66367550,05	57228205,62	49347422,28	68632352,42	36692149,76	31639346,17	27282354,21	23525355,01	20285724,77	17492217,61	15083398,82	13006293,72	11215222,66	9670796,462
	VPN de los costos	15.555.858.026													

Tabla 6. Valor presente neto del flujo de fondos por año para la alternativa centralizada de aguas residuales para la ciudad de Buga.

r= 5,97%, 7,97%, 9,97%, 11,97%, 13,97% y 15,97%.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
TSD= 5,97%	12219239057	559804012	528266502	498505711	470421545	443919548	418910586	395310546	373040055	352024210	610833599	313477709	295817409	279152033	263425529
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
	248585004,1	234580545,5	221365051,9	208894075,6	362473706,2	186020263,2	175540495,6	165651123,6	156318886,1	147512396	139202034,6	131359851,4	123959471	116976003,6	110385961,7
	VPN de los costos	20.750.972.922													
TSD= 7,97%	12219239057	549434391	508876902	471313237	436522402	404299714	374455603	346814488	321213752	297502780	506665399	255202442	236364214	218916564	202756844
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
	187789982,2	173927926,4	161089123,3	149198039,6	254093370,8	127984363,8	118536967,5	109786947,7	101682826,5	94176925,5	87225086,13	80786409,31	74823015,02	69299819,41	64184328,43
	VPN de los costos	19.204.162.922													
TSD= 9,97%	12.219.239.057	539.441.950	490.535.555	446.063.067	405.622.503	368.848.325	335.408.134	304.999.668	277.348.065	252.203.388	421.706.223	208.546.289	189.639.255	172.446.354	156.812.179
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
	142595416,3	129667560,5	117911758,2	107221749,8	179284186,4	88661370,5	80623234,07	73313843,84	66667130,89	60623016,17	55126867,49	50129005,62	45584255,36	41451537,11	37693495,6
	VPN de los costos	18.065.414.440													
TSD=11,97%	12219239057	529806477	473168239	422584834	377408979	337062587	301029372	268848238	240107384	214439032	352156313	171041100	152756185	136425993	121841559
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
	108816253,2	97183400,23	86794141,49	77515532,28	127297646,6	61828025,47	55218384,8	49315338,76	44043349,79	39334955,6	35129905,87	31374391,24	28020354,77	25024876,99	22349626,68
	VPN de los costos	17.207.161.532													
TSD= 13,97%	12219239057	520509180	456707186	400725793	351606381	308507836	270692144	237511752	208398484	182853807	295016820	140774149	123518600	108378170	95093595
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
	83437391,29	73209959,89	64236167,32	56362347,39	90935161,73	43391830,94	38073028,82	33406184,8	29311384,4	25718508,73	22566033,81	19799977,02	17372972,73	15243461,2	13374976,92
	VPN de los costos	16.545.972.341													
TSD= 15,97%	12219239057	511532562	441090422	380348729	327971656	282807326	243862487	210280665	181323329	156353651	247910938	116256358	100246924	86442118	74538344
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
	64273815,81	55422795,38	47790631,53	41209477,91	65340849,23	30641202,01	26421662,51	22783187,47	19645759,65	16940380,83	14607554,4	12595976,89	10861409,75	9365706,433	8075973,47
	VPN de los costos	16.026.180.949													

ANEXOS FORMULAS

Formula1. Índice de escasez de agua superficial

$$I_e = \frac{D}{O_n} \cdot 100\%$$

Donde

I_e : Índice de escasez (%)

D : Demanda de agua (m^3)

O_n : Oferta hídrica superficial neta (m^3)

La oferta Hídrica superficial neta O_n se define así:

$$O_n = O_t \cdot R_e \cdot R_f$$

Dónde:

O_t : Oferta hídrica superficial total (m^3)

R_e : Factor de reducción para mantener el régimen de estiaje

R_f : Factor de reducción para protección de fuentes frágiles

Fuente: Organización de Estados Americanos; Instituto Nacional de Estadística Bolivia; Departamento Administrativo Nacional de Estadística; Instituto Nacional de Estadística y Censos; Instituto Nacional de Estadística e Informática e IDEAM (2004)

APENDICE

Autor	Objetivo	Método de cálculo de beneficios	Método de Cálculo de Costos
Organización Mundial de la Salud (2004)	Calcular los beneficios de la implementación de mejoras de agua y saneamiento a nivel mundial por medio de un Análisis Costo Beneficio (ACB)	Costos evitados y costo oportunidad del tiempo de enfermedad asociado al salario mínimo. Los beneficios de implementar las mejoras son el ahorro y los gastos evitados que incurren los pacientes al dejar de enfermarse. El ahorro viene dado por la disminución de tratamientos en un caso diarreico, mientras que los costos evitados son los que se incurren en la consulta médica, medicamentos y desplazamientos, incluyendo también el costo oportunidad del tiempo improductivo por la enfermedad. La OMS definió que el costo oportunidad de la enfermedad es función del salario mínimo de la localidad en donde se presente.	Calculó los costos de la implementación de mejoras incluyendo los costos de construcción, supervisión, tratamiento, operación y mantenimiento, y recursos para poner en marcha el sistema.
Prihandrijanti, Malisie y Otterpohl (2008)	Evaluar tres alternativas para la implementación de un STAR	Los beneficios se calculan como los gastos evitados por enfermedad y la cuota por utilización del servicio a causa de la contaminación de la fuente hídrica y al precario sistema de saneamiento. Los gastos por enfermedad están compuestos por los	Los costos asociados a cada alternativa son los de construcción, supervisión, tratamiento, operación y mantenimiento, y recursos para poner en marcha el sistema.

	descentralizado para un distrito de en Indonesia por medio de un Análisis de Mínimo Costo (ACB)	costos de tratamiento y transporte al centro hospitalario, el salario de los días perdidos de trabajo, el costo de los días de ausentismo escolar y los días productivos perdidos de los padres debido a la morbilidad infantil. Los autores al realizar el cálculo establecen que las tres alternativas generan el mismo beneficio para la sociedad.	
Liang y Van Dijk (2008)	Analizar la viabilidad económica y financiera de un sistema descentralizado de reciclaje de agua en Pekín, se utiliza el método de ACB	Dividen los beneficios en económicos, ambientales y sociales. Los beneficios económicos que tiene la implementación del proyecto son los ingresos que genera la planta y se calculan multiplicando el precio del agua reusada por la cantidad usada. El beneficio ambiental está dado por el ahorro de agua purificada gracias al proyecto. En este sentido el cálculo se realiza multiplicando la cantidad de agua reusada por el precio del agua purificada. Los beneficios sociales del proyecto se presentan de dos formas: costos evitados por construcción de tuberías y el aumento de la conciencia social.	Dividen los costos en económicos y ambientales (impactos negativos). Los costos económicos se caracterizan en este estudio por ser los de construcción de la planta, instalación de la red de alcantarillado y mantenimiento. Los costos ambientales para los autores son los daños a la salud, como enfermedades por el contacto con el agua reciclada o por el impacto del ruido. Los autores utilizan los años de vida potencialmente perdidos o años de vida ajustados por discapacidad (DALY siglas en ingles) ¹⁶ .

¹⁶ Disability-Adjusted Life Year

BIBLIOGRAFIA

Alcaldía de Guadalajara de Buga (2012). “Plan de desarrollo 2012-2015: Buga para vivir mejor”. Buga.

Alcaldía de Guadalajara de Buga (2013). “Geografía del Municipio de Guadalajara de Buga”. Consultado en: http://www.guadalaradebuga-valle.gov.co/informacion_general.shtml#geografia

Anderson, D. y Otis, R. (2000). "Integrated Wasterwater Management in Growing Urban Environments," en Managing Soils in an Urban Environment. Madison, Wisconsin: American Society of Agronomy. Pages 199-250

Beleño, I (2011, 13 febrero). “El 50% del agua potable es de mala calidad” UNperiódico ed. 141|

Boardman, (2001). Cost- Benefit Analysis: Concepets and practice. New York: Prentice Hall, 2001. 526 p.

CIDWT (2009). “Decentralized Wasterwater Glossary”. Disponible en: <http://www.onsiteconsortium.org/glossary.html> revisado el: 1 de mayo de 2013

Colombia (1991). Nueva Constitución política de Colombia. Bogotá: Lito dinámica editores Ltda.

Colombia (1993). Ley 99 de 1993 art 65. Bogotá

Contraloría Departamental del Valle del Cauca (2009). “Informe de auditoría gubernamental: modalidad especial ambiental a la gestión del recurso hídrico en el valle del Cauca” “municipios de Guadalajara de Buga, San Pedro, Yotoco y Empresas de servicios públicos de acueducto y alcantarillado acuavalle y aguas de Buga”.

CRA (2013). Definición de la tasa de descuento aplicable a los servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado. Bogotá.

CVC, Cinara – Universidad del Valle. (2010). Proyecto Manejo Integral de las aguas residuales domésticas de la cabecera urbana del municipio de El Cerrito

CVC y Universidad del Valle (2007). Selección de tecnología y predimensionamiento hidráulico del sistema de tratamiento para las aguas residuales de Buga- Seltar Buga. Convenio interadministrativo No-134 de 2006

DANE (2005). Censo 2005, Sistema Único de Información- Servicios Públicos Domiciliarios. Bogotá

DNP (2007). *Planes departamentales de agua y saneamiento para el manejo empresarial de los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo*. Documento Conpes 3463

DNP (2013) Preguntas frecuentes: inversiones y finanzas públicas. Consultado en: <https://www.dnp.gov.co/PreguntasFrecuentes/InversionesyFinanzasP%C3%BAblicas.aspx>

Drummond, M; O'Brien, B; Stoddart, G. y Torrance, G. (1997). *Methods for the economic evaluation of health care programmes*. Segunda edición. Oxford: Oxford university press.

Drummond, M; O'Brien, B; Stoddart, G. y Torrance, G. (1997). *Methods for the economic evaluation of health care programmes*. Tercera edición. Oxford: Oxford university press.

Espinel, A. y Valencia, J. (2007, 17 noviembre). “Al río cauca lo están matando las 500 toneladas de contaminantes que le caen cada día”. El Tiempo.

Geisinger, D. y Chartier, G. (2005) “Managed onsite/decentralised wastewater systems as long-term solutions”. *Clearwaters*, 35, pp. 6-11.

Gitay, H; Suárez, A; Watson, R; y Dokken, D. (2002) “Cambio climático y biodiversidad.” Documento técnico V del IPCC, Washington (EE.UU). Abril.

Gobernación del Valle del Cauca (2009) *Informe de diagnóstico en abastecimiento de agua y saneamiento básico*. Plan departamental del agua Valle del cauca. Cali

Guadalajara de Buga (2011). Información estadística del municipio de Guadalajara de Buga año 2011. Anuario 2011.

Gleick, P (2000). *El Cambio de Paradigma del agua: Una Mirada al Desarrollo de los Recursos Hidráulicos en el siglo veintiuno*. Wáter internacional. Vol. 25. No. 127-138.

IDEAM (1998). Estudio Nacional del Agua. Relaciones oferta demanda e indicadores de sostenibilidad para el año 2016. Bogotá.

Jimeno, M; Sotomayor, M. y Valderrama, L. (1995). Chocó: diversidad cultural y medio ambiente. Fondo FEN Colombia, Bogotá.

Liang, X (2011). The economics of sustainable urban water management: The case of Beijin. Tesis doctoral. Erasmus University Rotterdam. Rotterdam.

Liang, X. y Van Dijk, M (2008). *Economic and financial analysis of decentralized wáter recycling systems in Beijing*. SWITCH scientific Meeting, Belo horizonte Brasil, 30 noviembre – 4 Diciembre, 2008.

Libralato, G; Ghirardini, A.V; Avezzu, F. (2011) *To Centralised or to Decentralized: An Overview of the Most Recent Trends in Wasterwater Treatment Management*. Journal of environmental Management, 94, 61-68.

McKibbin, J; Willetts, J; White, K; Hagare, p (2008). *Valuing sustainable sanitation: the economic assessment of alternative sanitation programs* 8th IWA Specialized Conference on Small Water and Wastewater Systems (SWWS) and 2nd IWA Specialized Conference on Decentralized Water and Wastewater International Network (DEWSIN), Coimbatore: India, febrero 6- 9 de 2008

Mercury Watch (2013). Consultado en: <http://www.mercurywatch.org/>

Metcalf y Eddy. (2003). Wasterwater engineering. *Treatment and reuse*. New York: McGraw-Hill, 1819 p.

Ministerio de Desarrollo Económico, (2000). Reglamento técnico del sector de Agua potable y Saneamiento básico. Bogotá

Ministerio del Medio Ambiente (2002). Gestión para el manejo, tratamiento y disposición final de las aguas residuales municipales. Bogotá

Ministerio del Medio Ambiente, vivienda y desarrollo territorial y Departamento nacional de planeación (2004). Plan nacional de manejo de aguas residuales. Bogotá

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2009). Programa para el saneamiento, Manejo y Recuperación Ambiental de la cuenca alta del río Cauca. Documento Conpes.

Municipalidad distrital de Pacarán (2011). Estudio de pre inversión a nivel de perfil: “ampliación y mejoramiento del sistema de agua potable y alcantarillado, e instalación de la planta de tratamiento de aguas residuales en la localidad de Pacarán, centro poblado romaní y anexo jacaya, distrito de Pacarán – cañete – lima. Pacarán.

Ojeda, E. y Arias, R (2000). *Informe Nacional sobre la gestión del agua en Colombia*. Asociación Mundial del Agua y la Comisión Económica para América Latina (CEPAL) 77p

Organización de Estados Americanos; Instituto Nacional de Estadística Bolivia; Departamento Administrativo Nacional de Estadística; Instituto Nacional de Estadística y Censos; Instituto Nacional de Estadística e Informática e IDEAM (2004), Metodología para el cálculo del índice de escasez de Agua Superficial. Consultado en <https://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/Bvirtual/021143/Metodologia%C2%A1paraelcalc ulo.pdf> revisado el: 30 de diciembre de 2013

Organización Mundial de la Salud (1989), Guidelines for the safe use of wastewater and excreta in agriculture an aquaculture: measures for public health protection. Executive Summary http://www.who.int/water_sanitation_health/wastewater/wastreusexecsum.pdf

Organización Mundial de la Salud, (2004). Evaluación de los costos y beneficios de los mejoramientos del agua y del saneamiento a nivel mundial. OMS

Orth, H. (2007). Centralised versus decentralised wastewater systems? Water Sci. technol. 56, 259-266

Parkinson, J; Tayler, K. (2003). Decentralized wastewater management in peri-urban areas in low-income countries. Environment and Urbanization 15 (1), 75–90.

Portales, R. (2014). “Tanque Imhoff”. Agua y medio ambiente. Consultado en: <http://agua-medioambiente.blogspot.com/2011/12/tanque-imhoff.html>

Pinkham, R; Hurley, E; Watkins, K; Lovins, A; Magliaro, J; Etnier, C; y Nelson, V. (2004). Valuing Decentralized Wastewater Technologies: *A Catalog of Benefits, Costs, and Economic Analysis Techniques*. Rocky Mountain Institute, USA.

PNUMA (2003). “Plan de Acción Estratégico sobre Aguas Residuales Municipales” Oficina Regional para América Latina y el Caribe. México: PNUMA.

Portafolio (2013). Aguas residuales y ciudades del futuro. Consultado en: <http://www.portafolio.co/opinion/aguas-residuales-y-ciudades-del-futuro>

Prihandrijanti, M; Malisie, A; Otterpohl, R (2008). *Cost-Benefit Analysis for Centralized and Decentralized Wastewater treatment System (Case Study in Surabaya-Indonesia)*. En Al Baz, I., Otterpohl, R., Wendland, C. (comps.), *Efficiente Management of Wastewater: Its treatment and reuse in water scarce countries* (pp. 258- 268). Springer.

Procuraduría General de la Nación (2005) “El agua potable y el saneamiento básico en los planes de desarrollo” Bogotá. 55 pp

Quiroga, E., Visscher, J. (1997). *Transferencia de tecnología en el sector de agua y saneamiento en Colombia. Una experiencia de aprendizaje*. Santiago de Cali: Universidad del Valle y International Water and Sanitation Centre (IRC).

Ronderos, M. (2011). La fiebre minera se apoderó de Colombia. Semana disponible en: <http://www.semana.com/nacion/articulo/la-fiebre-minera-apodero-colombia/246055-3> revisado el: 1 mayo de 2013

Sawyer, R; Buenfil, A; y Delmaire A. (2003). *Recomendaciones para la toma de decisiones relacionadas al saneamiento básico y a los servicios municipales de aguas residuales en América latina y el Caribe* Oficina Regional para América Latina y el Caribe PNUMA, México

Shiklomanov, I. (1998). Archive of world wáter resources and world wáter use. Global Water Data Files. State Hydrological Institute, St Petersburg, Rusia.

Torres. P. (2000). Tratamiento de esgoto sanitario em sistema combinado anaerobio-aerobio (UASB. RSB). Teses de doutoramento (Engenharia Hidráulica e Saneamento), Escola de Engenharia de Sao Carlos Universidade de Sao Paulo (Sao Carlos), 136p

U.S. Environmental Protection Agency. (1997). “Response to Congress on Use of Decentralized Wasterwater Treatment Systems.” Washington, D.C. “Office of Wasterwater Management, Office of Water. EPA 832-R-97-001b.

U.S. Environmental Protection Agency. (2003). "Handbook for Management of Onsite and Clustered (Decentralized) Wastewater Treatment Systems." Washington, D.C.: Office of Water. Draft. EPA-832-D-03-001.

Von Sperling, M. (1996). “comparison among the most freuently used systems for waterwater treatment in developing countries”. *Water Sciense and Technology*, vol. 33, No. 3, pp. 59-72.