

MODELO DE COSTOS PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES EN LA REGIÓN.

Costs Model for the Treatment of Wastewater in the Coffee Region.

RESUMEN

Actualmente, no existe una aproximación real a los costos asociados a los sistemas de tratamiento de aguas residuales. Por ello, se desarrolló un modelo matemático que permite simular, para cada tecnología, el comportamiento de sus diferentes costos asociados (inversión inicial, operación y mantenimiento), con el fin de proporcionar una herramienta idónea que permita la planeación de proyectos de control de la contaminación hídrica. El ámbito de aplicación de la herramienta puede ser municipal o privado y establece, según los recursos económicos disponibles, cuál será la(s) tecnología(s) que mejor se adapta a cada condición específica, teniendo en cuenta la economía local.

PALABRAS CLAVES: costos, inversión inicial, operación y mantenimiento, sistemas de tratamiento, aguas residuales.

ABSTRACT

Currently, there is no an actual approach to the associated costs to wastewater treatment systems; therefore, a mathematic model was developed, which allows, for each evaluated technology, to model the behavior of its associated costs (initial investment, operation and maintenance), in order to provide a suitable tool which helps in the planning of projects of water pollution control. This tool can be applied by either municipal or private entities and it determines, depending on the available economic resources, which technology will be the one that fits best to each specific condition, taking into account the local economy.

KEYWORDS: costs, initial investment, operation and maintenance, treatment systems, wastewater.

1. INTRODUCCIÓN

Hay un déficit generalizado de plantas de tratamiento de aguas servidas salvo, en algunos casos, para los desechos industriales más tóxicos. La información existente sobre las instalaciones de tratamiento de aguas servidas en América Latina y el Caribe es muy limitada. En el año de 1962 se estimó que, en los países mejor atendidos, sólo alrededor del 10% de los sistemas de alcantarillado disponían de instalaciones de tratamiento (OPS, 1990). En general, puede decirse que desde principios de los años noventa menos del 10% de los sistemas de alcantarillado tenían plantas de tratamiento (OPS, 1992). Sólo del 5% al 10% de las aguas residuales recogidas por los sistemas de alcantarillado recibían tratamiento, que a menudo era inadecuado. En 1995, el promedio de aguas servidas tratadas era de apenas el 13% (OPS, 1998). Muchas de las pocas plantas de tratamiento de aguas servidas que existen en los países de la región presentan deficiencias en su operación.

El inventario de sistemas de tratamiento de aguas residuales realizado en Colombia por el Ministerio del Medio Ambiente, en el año 2002, reporta que sólo el 22%

de las cabeceras municipales del país hacen tratamiento de las aguas residuales y muchas están funcionando deficientemente o, lo que es más crítico, sin ser operadas. Según el Inventario Nacional del Sector de Agua Potable y Saneamiento realizado por el Ministerio de Desarrollo Económico en el mismo año, cerca de 1300 cuerpos de agua están siendo contaminados por ser los receptores de los vertimientos municipales (Minambiente, 2002).

Según el Consejo Nacional de Política Económica y Social CONPES, hasta el año 2002 existían 237 plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas construidas en 235 municipios, que trataban cerca del 8% de los vertimientos producidos por éstos. Sin embargo, gran parte de estos sistemas de tratamiento de aguas residuales presentan deficiencias en cuanto a su capacidad y no cumplen con el proceso completo de tratamiento o, peor aún, muchas no son operadas. Así mismo, aunque la Ley 142 de 1994 contempla la recuperación de los costos de operación y mantenimiento, en la mayoría de los casos, estos no fueron incluidos en la estructura de costos de los prestadores y a 2002 no había sido posible garantizar la sostenibilidad de dichas inversiones (CONPES, 2002).

DIANA SALAS QUINTERO

Ingeniera Sanitaria
Profesor Auxiliar
Universidad Tecnológica de Pereira
disaqui@ambiental.utp.edu.co

MARIO ALBERTO ZAPATA

Ingeniero Civil
Grupo de Investigación en Agua y Saneamiento
Universidad Tecnológica de Pereira
malzape@utp.edu.co

JHONIERS GUERRERO

Ingeniero Sanitario M. Sc., Ph. D.
Director Escuela de Postgrados
Profesor Titular
Universidad Tecnológica de Pereira
jhguerre@utp.edu.co

En Colombia existen 989 pequeñas localidades – áreas urbanas por debajo de los 30.000 habitantes – de las cuales 769 (78%) no tienen tratamiento alguno de sus aguas residuales (DANE, 2000, Minambiente – Uniandes, 2002, CONPES, 2002)

Hasta el año 2002 se reportaba que los departamentos con mayor cobertura de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales – PTAR, operando y/o en diseño, eran Cundinamarca (38 PTAR), Antioquia (26 PTAR), Cesar (14 PTAR), Valle del Cauca (14 PTAR) y Tolima (13 PTAR) (Minambiente, 2002).

En el año 2002, los Ministerios de Medio Ambiente y de Desarrollo Económico, fusionados desde 2004 como el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, integraron de varios estudios, algunos costos de inversión de sistemas de tratamiento, los cuales se presentan en la tabla 1; sin embargo, es importante tener en cuenta que se presentan desviaciones de costos directos notables para el caso de algunos municipios dependiendo de factores locales (

Figura 1).

PROCESO	(\$/hab)		(US \$/hab)	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
Preliminar	4.400	17.600	2	8
Primario	44.000	66.000	20	30
Lagunas	22.000	66.000	10	30
Filtros percoladores	66.000	132.000	30	60
Lodos activados	88.000	264.000	40	120
UASB	44.000	88.000	20	40

Tabla 1. Costos directos de inversión para sistemas de tratamiento de aguas residuales (a 2002)

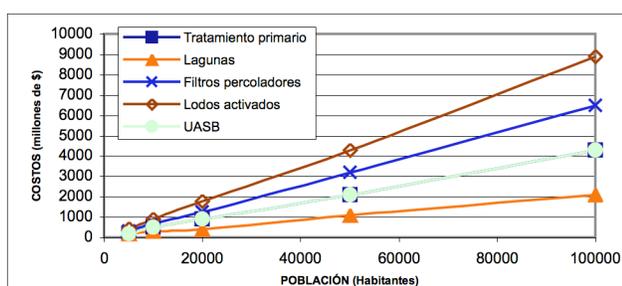


Figura 1. Costos directos de tratamiento de aguas residuales. Fuente: Minambiente, 2002

Con este diagnóstico, y teniendo en cuenta que hay aproximadamente 300 municipios que cumplen las condiciones técnicas previstas para dotarlos con sistemas de tratamiento de aguas residuales, en los próximos años habría que invertir un costo cercano a los US\$ 2.600 millones, e inversiones adicionales por unos US\$ 800 millones para completar las redes de colectores e interceptores. De acuerdo con estimaciones presentadas

en el estudio “Plan Decenal de Aguas Residuales” contratado por el Ministerio de Medio Ambiente, los recursos disponibles en las diferentes fuentes podrían financiar aproximadamente el 12% de los requerimientos de inversión. No obstante, si se tiene en cuenta el monto histórico asignado por las entidades territoriales para las inversiones en tratamiento (US\$ 300 millones), dicho porcentaje aumentaría al 20%. Sin embargo el déficit de inversión seguiría siendo muy alto, cercano a US\$ 2.700 millones (CONPES, 2002).

En otras palabras, los recursos económicos disponibles para la ejecución de proyectos para el tratamiento de las aguas residuales son muy bajos con respecto a los requeridos, además se tiene el agravante de que no existe una planificación real de los mismos ni tampoco se cuenta con una metodología para su estimación.

Además de esto, toda la información existente, nacional e internacionalmente, sobre investigaciones efectuadas con el fin de observar el comportamiento de los costos de inversión y operación de las diferentes tecnologías de tratamiento de las aguas residuales, no permiten una aproximación real de los costos asociados a los diferentes sistemas de tratamiento de aguas residuales de acuerdo a la economía local, por lo cual se plantea hallar una relación de los diferentes costos (de inversión inicial y de operación y mantenimiento), con respecto al caudal a tratar, que sirva de ayuda en la planeación de nuevos sistemas en la región.

El modelo desarrollado en esta investigación se convierte en una herramienta idónea por su facilidad de uso y capacidad de respuesta, que permite la planeación de proyectos de control de la contaminación hídrica, ya sea en el ámbito municipal o privado, estableciendo según los recursos económicos disponibles y el volumen de agua residual a tratar, cuál será la(s) tecnología(s) que mejor se adapta(n) a cada condición específica, teniendo en cuenta la economía local.

2. METODOLOGÍA

Debido a que en Colombia no se ha construido una cantidad significativa de plantas de tratamiento de aguas residuales como para realizar un análisis por el método de acercamiento paramétrico, es decir, mediante un análisis estadístico del costo de sistemas con similares características, el modelo propuesto se basa en el método de costos unitarios, siguiendo los lineamientos del modelo CAPDET, el cual combina los métodos de acercamiento paramétrico y de costos unitarios para realizar la estimación de costos totales de un proyecto, y el modelo conceptual de CINARA para la selección de tecnología en sistemas de potabilización de agua, también basado en el principio de costos unitarios propuesto en CAPDET.

2.1 Conceptos generales de costos de sistemas de tratamiento de aguas residuales

Los costos de una planta de tratamiento de aguas residuales pueden ser clasificados principalmente en dos categorías como son: los costos de inversión inicial, y los costos de funcionamiento (administración, operación, mantenimiento). En la tabla 2 se observan los diferentes tipos de costos y sus actividades correspondientes.

Costos	Actividad	
Inversión	Estudios Preliminares y Estudios de Suelo	
	Diseño e Ingeniería	
	Construcción	
	Terreno	
	Interventoría	
	Gastos Administrativos, Legales y Financieros	
	Reposición	
Funcionamiento	Operación y Mantenimiento	Reposiciones
		Reparaciones
		Energía
		Insumos químicos
		Monitoreo de los procesos y de la calidad del agua
		Mano de obra para operación y mantenimiento
		Disposición de lodos
	Administrativos	Mantenimiento de los equipos
		Personal administrativo
		Gastos generales
		Tasas ambientales

Tabla 2. Componentes de los costos relacionados con la implementación de sistemas de tratamiento de aguas residuales

Los costos de inversión inicial de los sistemas de tratamiento de aguas residuales están asociados con las inversiones necesarias para la construcción de la infraestructura física de la planta. En este sentido, incluye los costos de diseño, materiales, maquinaria, equipos y mano de obra.

En la inversión inicial de una obra de ingeniería es necesario tener en cuenta, aparte de los costos directos de construcción, otros costos que deben ser cuantificados ya que elevan significativamente el monto de la inversión, tales como: estudios de preinversión (estudios técnicos necesarios para estimar la factibilidad del proyecto y realizar el diseño de las obras requeridas), interventoría (supervisión técnica de la obra en la fase de construcción), Administración, imprevistos y utilidades o

AIU. Éste último corresponde a los costos que la firma o entidad constructora adiciona al presupuesto total de inversión como un porcentaje, que en Colombia fluctúa entre el 15 y 25% y que para el modelo se adopta 20%.

Para el cálculo de los costos directos se utilizó el método del costo unitario. De acuerdo con SEYFRIED (1985) los costos de un sistema de tratamiento de aguas residuales no son lineales proporcionales al caudal de la planta, pues el tamaño de la misma depende también de las características del agua a tratar. Luego los costos se deben asociar a los tamaños de las unidades de tratamiento y estos se pueden representar por una ecuación de la forma $y = A \cdot x^B$, donde “y” corresponde a la cantidad de obra requerida y “x” es el tamaño característico de la unidad de tratamiento.

Los costos de operación y mantenimiento son los que se generan para garantizar el buen desempeño de las operaciones y procesos de tratamiento del agua y asegurar que las instalaciones sean operadas y mantenidas eficientemente.

Los factores que determinan los costos de operación y mantenimiento de una instalación de tratamiento de aguas residuales están asociados a la complejidad de la tecnología utilizada, el tamaño de la misma y la capacidad local de soportar esta complejidad.

En sistemas de tratamiento de aguas residuales los costos de operación y mantenimiento están principalmente influenciados por los requerimientos de la tecnología. Estos requerimientos son:

- Energía eléctrica
- Insumos químicos
- Control de calidad del agua de proceso
- Mantenimiento y reparación de equipos
- Personal para operación y mantenimiento de las instalaciones
- Gastos de administración

La planta de personal de un sistema de tratamiento de aguas residuales puede estar conformada por los siguiente staff, de acuerdo a las necesidades de cada sistema:

- Administración:
 - Administrador
 - Auxiliar de administración
- Labores de operación:
 - Operador
 - Auxiliar de operación
- Labores de mantenimiento:
 - Técnico mecánico
 - Técnico electricista
 - Auxiliar de mantenimiento
 - Celador

- Laboratorio:
 - Químico
 - Técnico de laboratorio

2.2 Límites de caudal

Los caudales de diseño se fijaron en 1, 3, 8 y 16 l/s, que corresponden a una población de 600, 1800, 4800 y 9600 habitantes, respectivamente, con una dotación de 180 L/hab.día y un coeficiente de retorno de 0.8.

Para cada uno de estos caudales se realizaron diseños típicos de cada uno de los 5 trenes de tratamiento (20 diseños tipo), con el propósito de conocer la magnitud de la dimensión (volumen o área) más importante de cada unidad de tratamiento y derivar de esta los modelos de cantidades de obra de los ítems relevantes.

2.3 Criterios de diseño

Los criterios de diseño de las alternativas de tratamiento fueron determinados con base en el RAS 2000 y revisión de literatura.

Las unidades de tratamiento se consideraron semienterradas para su dimensionamiento estructural y las obras civiles de las plantas de tratamiento se consideraron en concreto reforzado.

2.4 Sistemas de tratamiento evaluados

Los sistemas o trenes de tratamiento evaluados fueron:

- Desarenador – Sedimentador primario – Humedal de flujo subsuperficial – Lecho de secado
- Desarenador – Sedimentador primario - Humedal de flujo superficial – Lecho de secado
- Desarenador – Sedimentador primario – Filtro percolador – Sedimentador secundario – Lecho de secado
- Desarenador – Sedimentador primario – Laguna facultativa – Lecho de secado
- Desarenador – Sedimentador primario – Lodos activados – Sedimentador secundario – Lecho de secado
- Desarenador – Tanque séptico – Filtro anaerobio de flujo ascendente – Humedal de flujo subsuperficial – Lecho de secado

Los modelos de cantidades de obra se desarrollaron de manera independiente para cada tren de tratamiento. Con este objetivo se definieron las siguientes actividades para la construcción de un sistema de tratamiento de aguas residuales:

- Localización
- Excavación
- Colocación de concreto
- Figurado de hierro
- Instalación de formaleta
- Material de soporte
- Recubrimiento
- Sembrados
- Instalaciones hidráulicas
- Equipos
- Conexiones
- Cerramiento
- Afirmado de vías
- Cunetas de aguas lluvias

Para cada tren de tratamiento se estimaron los modelos de cantidad de obra de cada una de las unidades que lo conforman. De esta forma se puede estimar el costo de inversión para cada unidad de tratamiento por separado y el costo total de la planta de tratamiento como una sumatoria del costo de sus unidades.

3. RESULTADOS OBTENIDOS CON EL MODELO DE COSTOS PROPUESTO PARA SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN COLOMBIA

En la figura 2 se observan los resultados de la aplicación del modelo de costos, para los seis sistemas de tratamiento evaluados, en la ciudad de Pereira.

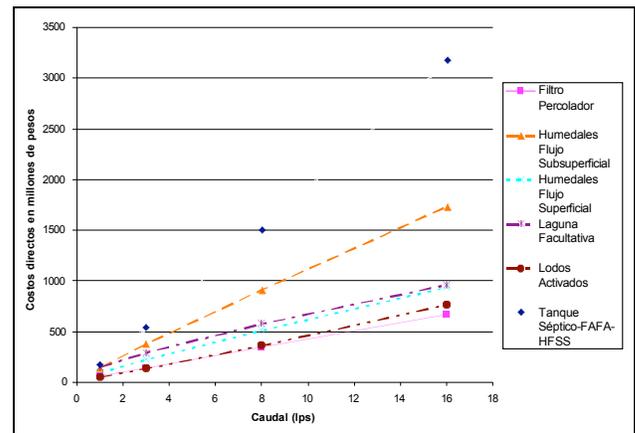


Figura 2. Costos de construcción de los seis sistemas de tratamiento de aguas residuales evaluados

Por su parte, en la figura 3 se presentan los resultados del modelo de costos de Operación y Mantenimiento (O&M), para los sistemas evaluados, en la ciudad de Pereira.

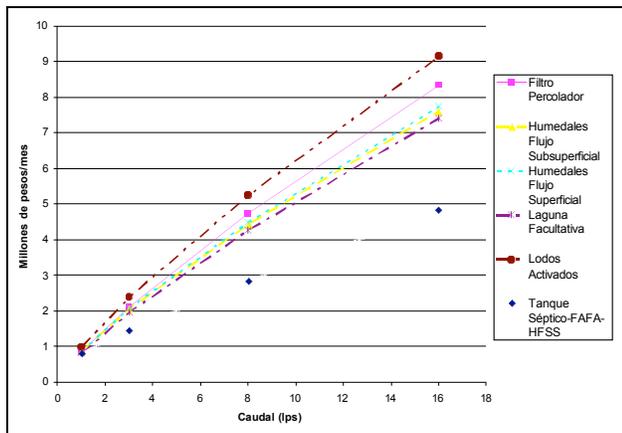


Figura 3. Costos de Operación & Mantenimiento de los seis sistemas de tratamiento de aguas residuales evaluados

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Dado el escaso número de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR) que han sido construidos y se encuentran operando actualmente en Colombia, el modelo CAPDET se torna como una buena alternativa para estimar los costos de inversión inicial y de operación y mantenimiento de STAR en proceso de prediseño y diseño.

La mayoría de STAR en Colombia se encuentran en proceso de prediseño o diseño, algunas pocas se encuentran en construcción y otras, muy pocas, se hallan funcionando actualmente, lo que indica la necesidad de establecer un sistema de información para estos sistemas.

Los costos más representativos en inversión inicial de sistemas naturales están constituidos por el costo del lote necesario para la construcción del sistema, por los costos de impermeabilización y por el costo del material filtrante en el caso de humedales de flujo subsuperficial.

En el caso de los sistemas convencionales, los costos más significativos en inversión inicial están representados por la adquisición de equipos de automatización y control de los procesos, así como por los equipos de bombeo, en unidades como lodos activados o filtro percolador. En estos sistemas también son significativos los costos de las unidades de manejo de lodos.

Los costos más representativos de operación y mantenimiento de sistemas convencionales incluyen el funcionamiento de los procesos de automatización y control – en el caso de que existan –, de los equipos de bombeo y los insumos químicos necesarios para el tratamiento.

Los resultados de la aplicación del modelo de costos para los cinco STAR seleccionados indican que el sistema más costoso de construir es el de desarenador – sedimentador

– humedal de flujo subsuperficial – lecho de secado, mientras que el menos costoso de construir es el de desarenador – sedimentador – filtro percolador – sedimentador secundario – lecho de secado.

La diferencia entre los costos de construcción de sistemas con humedales de flujo superficial y sistemas con humedales de flujo subsuperficial, está dada por la excavación y el material filtrante necesarios para los humedales de flujo subsuperficial.

Los resultados del modelo de costos de operación y mantenimiento muestran que el sistema más oneroso de operar y mantener es el de desarenador – sedimentador – lodos activados – sedimentador secundario – lecho de secado, mientras que el menos oneroso es el de desarenador – sedimentador primario – laguna facultativa – lecho de secado.

5. BIBLIOGRAFÍA

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA – DANE. 2000. <http://www.dane.gov.co>

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN, MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO – CONPES. Documento CONPES 3177: “Acciones prioritarias y lineamientos para la formulación del plan nacional de manejo de aguas residuales”. Bogotá, Colombia, Julio 15 de 2002.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA. 1980. Construction Cost for Municipal Wastewater Treatment Plants. EPA/430/9-80-003, Washington, USA.

GUERRERO, J. Modelo de selección de tecnología para el tratamiento de aguas residuales en pequeñas localidades. Seminario Internacional Agua 2003. Universidad del Valle – Instituto CINARA. Cartagena, Colombia, 2003.

MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS 2000. Bogotá, Colombia, 2000.

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Gestión para el manejo, tratamiento y disposición final de las aguas residuales municipales. Bogotá, Colombia, 2002.

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, UNIVERSIDAD DE LOS ANDES. Inventario nacional del sector agua potable y saneamiento básico. Tomos I y II. Bogotá, Colombia, 2002.

ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD
- OPS. Situación del abastecimiento de agua potable y del saneamiento en la región de las Américas al finalizarse el decenio 1981 - 1990, y perspectivas para el futuro. Volumen 1. Washington, D.C, 1990.

OPS. Reunión consultiva sobre disposición de excretas y aguas residuales en América Latina y el Caribe, Serie Ambiental No. 11. Washington, D.C, 1992.

OPS. La salud en las Américas. Edición de 1998. Volumen I. Publicación científica No. 569. Washington, D.C, 1998.

SEYFRIED, C. Kosten der Abwasserreinigung und Schlammhandlung, Betriebstechnik, Kosten und Rechtsgrundlagen der Abwassertechnik. ATV – Handbuch, 4. Auflage, Ernst & Sohn, Berlin, Deutschland, 1985.

VON SPERLING, M. Comparison among the most frequently used systems for wastewater treatment in developing countries. In: Water Science and Technology. Vol. 33 No. 3. Elsevier Science Ltd. Great Britain, 1996.