

# Alternativas de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales (PTARM) para ciudades con población $\leq 20.000$ habitantes

## Municipal wastewater treatment plants for cities with population $\leq 20.000$ inhabitants

ANDREA DEL PILAR GALVIS RAMÍREZ<sup>1</sup> - JAIRO ALBERTO ROMERO ROJAS<sup>2</sup>

1. Magíster en Ingeniería Civil de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

2. Ingeniero civil. MEEE. Profesor titular de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

andregal@hotmail.com - jairo.romero@escuelaing.edu.co

Recibido: 15/11/2012 Aceptado: 01/12/2012

Disponible en <http://www.escuelaing.edu.co/revista.htm>

### Resumen

En este artículo se evalúan y comparan cuatro sistemas de tratamiento de aguas residuales para municipios con población de diseño  $\leq 20.000$  habitantes, para proveer criterios de selección en términos de conveniencia desde el punto de vista técnico-económico. Las opciones seleccionadas para la evaluación son 1) laguna anaerobia + laguna facultativa, 2) lagunas facultativas en serie, 3) lodos activados tipo aireación prolongada y 4) reactor UASB + postratamiento con laguna facultativa. Los resultados de la evaluación indican que, en general, la alternativa de tratamiento más apropiada es la de lagunas facultativas en serie<sup>(1)</sup>.

**Palabras claves:** tratamiento de aguas, aguas residuales, plantas de tratamiento, lagunas de estabilización, lodos activados, UASB.

### Abstract

This article evaluates and compares 4 wastewater treatment plants for municipalities with a population of  $\leq 20.000$  inhabitants design to provide criteria of selection in terms of convenience from the technical point of view. The treatment technologies selected for evaluation are 1) anaerobic lagoon + facultative pond, 2) facultative ponds in series, 3) activated sludge type extended aeration and 4) UASB reactor + post-treatment with facultative pond. The results of the evaluation show that, in general, the most appropriate alternative of treatment is serially facultative ponds<sup>(1)</sup>.

**Keywords:** water treatment, wastewater, treatment plants, stabilization ponds, activated sludge, UASB.

## INTRODUCCIÓN

De acuerdo con el artículo 72 del Decreto 1594 de 1984, expedido por el Ministerio de Agricultura<sup>(9)</sup>, todo vertimiento de aguas residuales debe cumplir, por lo menos, con las siguientes normas:

Referencia	Valor
pH	5 a 9 unidades
Temperatura	≤ 40 °C
Material flotante	Ausente
Grasas y aceites	Remoción ≥ 80 % en carga
Sólidos suspendidos	Remoción ≥ 80 % en carga
Demanda bioquímica de oxígeno	Remoción ≥ 80 % en carga

El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) expide el Decreto 3930 el 25 de octubre de 2010<sup>(5)</sup>, que establece los usos, el ordenamiento y los vertimientos al recurso hídrico, al suelo y a los alcantarillados, y mantiene transitoriamente vigentes los artículos para control de vertimientos del Decreto 1594 de 1984<sup>(9)</sup>.

La experiencia con las tecnologías de tratamiento de aguas residuales<sup>(6,7,8,11)</sup> permite afirmar que para satisfacer los requerimientos del artículo 72 es necesario proveer plantas de tratamiento secundario que, para ciudades con población ≤ 20.000 habitantes, generen vertimientos de calidad suficiente en DBO (demanda bioquímica de oxígeno), SST (sólidos suspendidos totales), pH, G y A (grasas y aceites) y material flotante, en condiciones de bajo costo, operación simple, baja producción de lodos y mínimo impacto ambiental. Las alternativas seleccionadas para evaluación tienen amplia aceptación y proveen elementos útiles de análisis para su uso eventual como PTARM en municipios de población ≤ 20.000 habitantes<sup>(7)</sup>.

## METODOLOGÍA

Se hizo un inventario de las ciudades con población ≤ 20.000 habitantes<sup>(2,3,4)</sup> y se determinaron el caudal y la caracterización del agua residual municipal. Se adoptaron criterios de diseño para cada unidad de los sistemas de tratamiento propuestos y se calcularon sus costos iniciales y de operación. Con base en una matriz de evaluación de la importancia de los factores que inciden

en la selección de la mejor alternativa, se determinó la más conveniente.

## RESULTADOS

El análisis de 1008 planes de desarrollo municipales permitió establecer que en 336 de ellos se hace un diagnóstico sobre la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), mientras que en los 672 municipios restantes no se incluye el tema<sup>(2)</sup> (figura 1). De los 336 municipios que informan sobre la PTAR, sólo 84, un 23%, tienen planta (figura 2).

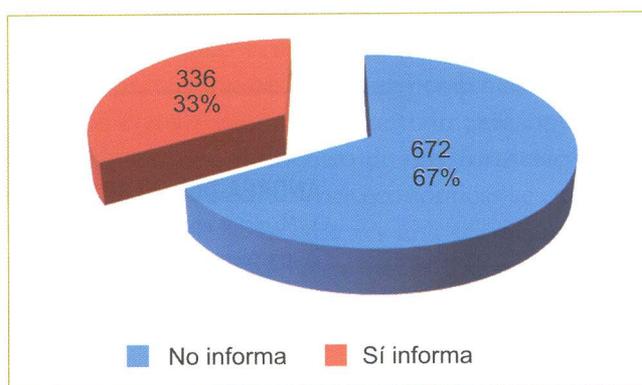


Figura 1. Municipios con diagnóstico sobre PTARM<sup>(2)</sup>.

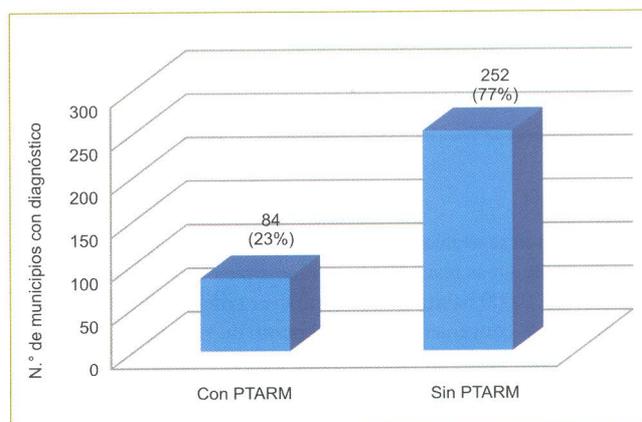
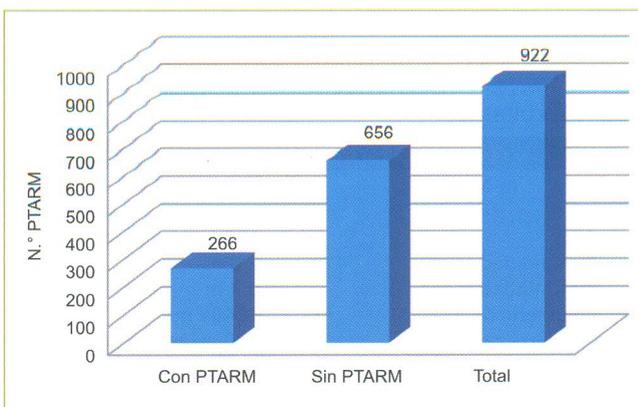


Figura 2. Municipios con información que cuentan con PTARM<sup>(2)</sup>.

A continuación se presenta el inventario de PTARM, en municipios con población urbana ≤ 20.000 habitantes (tabla 1 y figura 3).

**Tabla 1**  
Inventario de PTARM en municipios con población urbana  $\leq 20.000$  habitantes

Departamento	Municipios con PTARM	Municipios sin PTARM	Total
Amazonas	0	1	1
Antioquia	30	69	99
Arauca	5	0	5
San Andrés	1	0	1
Atlántico	2	11	13
Bolívar	8	28	36
Boyacá	19	99	118
Caldas	4	18	22
Caquetá	2	12	22
Casanare	15	2	17
Cauca	13	25	38
Cesar	21	9	21
Chocó	0	29	29
Córdoba	10	10	20
Cundinamarca	39	65	104
Guainía	1	0	1
Guaviare	0	3	3
Huila	12	20	32
La Guajira	8	2	10
Magdalena	6	18	24
Meta	10	51	61
Norte de Santander	6	29	35
Putumayo	5	5	10
Quindío	1	5	6
Risaralda	1	9	10
Santander	18	61	79
Sucre	10	9	19
Tolima	15	24	39
Valle del Cauca	4	20	24
Vaupés	2	1	3
Vichada	1	3	4
<b>Total</b>	<b>266</b>	<b>656</b>	<b>922</b>



**Figura 3.** PTARM en municipios con población urbana  $\leq 20.000$  habitantes.

A renglón seguido se presenta la distribución de las PTARM utilizadas en municipios con población urbana  $\leq 20.000$  habitantes, según el tipo de sistema de tratamiento (tabla 2).

**Tabla 2**  
Tipos de PTARM en municipios con población urbana  $\leq 20.000$  habitantes

Parámetro	N.º municipios	(%)
Sin información	72	27,1
Lagunas de estabilización	67	25,2
Lodos activados	27	10,2
Aireación extendida	24	9,0
UASB	23	8,6
Tratamiento primario	21	7,9
Filtros percoladores	13	4,9
Zanjones de oxidación	12	4,5
Otros	7	2,6
<b>Total</b>	<b>266</b>	<b>100</b>

A partir de la caracterización de aguas residuales crudas para 28 municipios de Cundinamarca se obtuvo la caracterización promedio de la tabla siguiente (tabla 3).

**Tabla 3**  
Caracterización ARC en poblaciones de Cundinamarca<sup>(10)</sup>

Parámetro	Promedio
DBO (mg/L)	177
SST (mg/L)	260
Coliformes totales $\times 10^{-4}$ (NPM/100 mL)	10812

Las alternativas seleccionadas para la evaluación se ilustran más adelante (figuras 4 a 7).

Como caudal de diseño se adoptó el caudal promedio afluente a las PTARM de municipios con aforos conocidos, igual a 202 L/hab.d, es decir, 46,76 L/s para una población con 20.000 habitantes.

En las tablas 4 a 11 se incluyen los parámetros de diseño para los procesos seleccionados, de conformidad con el RAS 2000, y se resumen los resultados obtenidos.

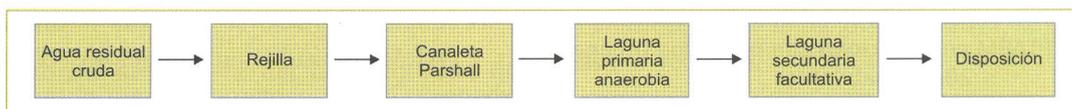


Figura 4. Laguna anaerobia + laguna facultativa.

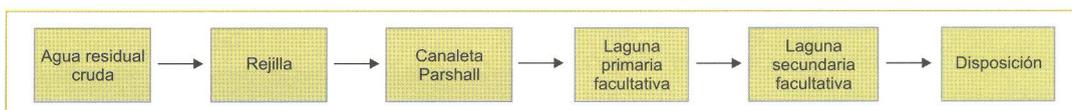


Figura 5. Lagunas facultativas en serie.

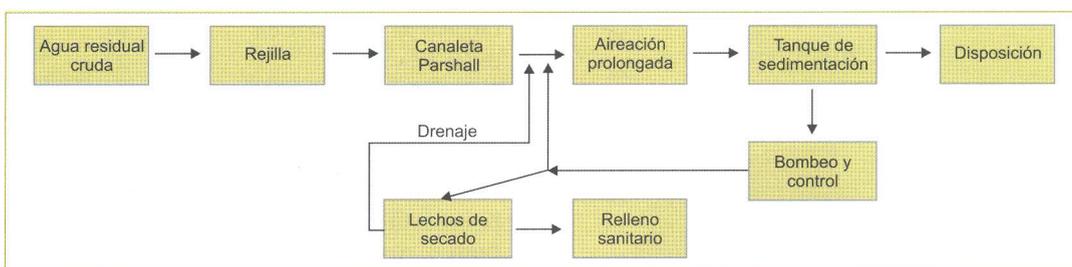


Figura 6. Lodos activados tipo aireación prolongada.

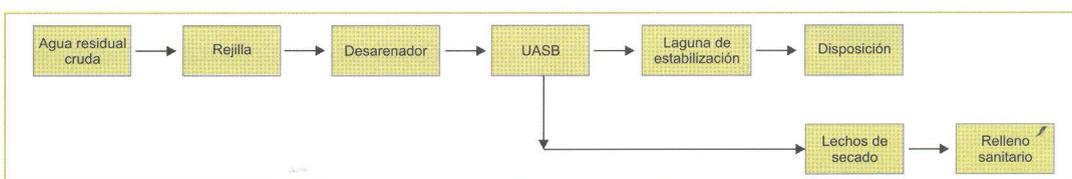


Figura 7. UASB + postratamiento con laguna de estabilización.

Tabla 4  
Datos de entrada

Población	20000 hab
$Q_{\text{diseño}}$	46,8 L/s
$Q_{\text{diseño}}$	4040 m <sup>3</sup> /d
DBO afluente (tabla 3)	177 mg/L
SST (tabla 3)	260 mg/L
T	20 °C
CO	715 kgDBO/d

Tabla 5  
Laguna anaerobia + laguna facultativa

Laguna anaerobia		Laguna facultativa	
$\theta$	5 d	CO	358 kgDBO/d
% remoción DBO	50 %	$\theta$	10 d
$V_{\text{Lodo}}$	800 m <sup>3</sup> /año	COS	177 kgDBO/ha.d
Periodo de desenlode	8 años	Profundidad	2,0 m
Profundidad	3 m	Profundidad lodos	0,7 m
Profundidad lodos	1 m	Volumen	40401 m <sup>3</sup>
Volumen	20200 m <sup>3</sup>	$V_{\text{Lodo}}$	600 m <sup>3</sup> /año
Área	0,67 ha	Área	2,02 ha
DBO <sub>efluente</sub>	88,5 mg/L	% remoción DBO (McGarry)	78 %
COS	1062 kgDBO/ha.d	DBO <sub>efluente</sub>	19 mg/L
COV	35 gDBO/m <sup>3</sup> d	Periodo de desenlode	22 años
		COV	8,9 gDBO/m <sup>3</sup> d

**Tabla 6**  
Lagunas facultativas en serie

Laguna facultativa 1		Laguna facultativa 2	
COS <sub>(MARA)</sub>	253 kgDBO/ha.d	COS	202 kgDBO/ha.d
$\theta$	17,5 d	CO <sub>afluente</sub>	164 kgDBO/d
V <sub>LODO</sub>	800 m <sup>3</sup> /año	DBO <sub>afluente</sub>	41 mg/L
Área	2,83 ha	$\theta$	4 d
Profundidad	2,5 m	V <sub>LODO</sub>	600 m <sup>3</sup> /año
Profundidad lodos	0,8 m	Área	0,81 ha
Volumen	70641 m <sup>3</sup>	Profundidad	2,0 m
COV	10 gDBO/m <sup>3</sup> d	Profundidad lodos	0,7 m
% remoción DBO (McGarry)	77 %	Volumen	16284 m <sup>3</sup>
DBO <sub>efluente</sub>	41 mg/L	COV	10,1 gDBO/m <sup>3</sup> d
Periodo de desenlode	29 años	% remoción DBO <sub>(supuesto)</sub>	50 %
		DBO <sub>efluente</sub>	20 mg/L
		Periodo de desenlode	9 años

**Tabla 7**  
Lodos activados de aireación extendida

Datos de entrada		Cálculos	
Población	20000 hab	Vol. zanjones	3030 m <sup>3</sup>
Q <sub>DISEÑO</sub>	164 kgDBO/d	$\theta$	0,75 d
V <sub>LODO</sub>	800 m <sup>3</sup> /año	DBO <sub>afluente</sub>	41 mg/L
Área	2,83 ha	$\theta$	4 d
Profundidad	2,5 m	V <sub>LODO</sub>	600 m <sup>3</sup> /año
Profundidad lodos	0,8 m	Área	0,81 ha
Volumen	70641 m <sup>3</sup>	Profundidad	2,0 m
COV	10 gDBO/m <sup>3</sup> d	Profundidad lodos	0,7 m
% remoción DBO (McGarry)	77 %	Volumen	16284 m <sup>3</sup>
DBO <sub>efluente</sub>	41 mg/L	COV	10,1 gDBO/m <sup>3</sup> d
Periodo de desenlode	29 años	% remoción DBO <sub>(supuesto)</sub>	50 %
		DBO <sub>efluente</sub>	20 mg/L
		Periodo de desenlode	9 años

**Tabla 8**

Tanque de sedimentación del proceso de lodos activados

Caudal medio	4040 m <sup>3</sup> /d
$\theta$	2 h
Carga superficial <sub>(RAS 2000)</sub>	16 m/d
Área superficial	253 m <sup>2</sup>
Diámetro del tanque	18 m
Profundidad tanque <sub>(RAS 2000)</sub>	4 m
Vol. tanque	1010 m <sup>3</sup>
Caudal pico	12120 m <sup>3</sup> /d
$\theta$	2 h
Carga superficial <sub>(RAS 2000)</sub>	32 m/d
Área superficial	379 m <sup>2</sup>
Diámetro del tanque	22 m
Profundidad tanque <sub>(RAS 2000)</sub>	4 m
Vol. tanque	1515 m <sup>3</sup>

Se adoptó el diseño con el caudal pico, que equivale a tres veces el caudal medio, para un tiempo de retención de dos horas y carga superficial de 32 m/d.

**Tabla 9**

Lechos de secado proceso de lodos activados

Área de lechos	1000 m <sup>2</sup>
Área de lechos	0,1 ha

**Tabla 10**  
UASB + postratamiento con laguna facultativa

UASB		Laguna facultativa	
$\theta$	10 h	CO <sub>afuente</sub>	250 kgDBO/d
$\theta$	0,42 d	COS <sub>(40% MARA)</sub>	101 kgDBO/ha.d
Vol. total	1683 m <sup>3</sup>	DBO <sub>afuente</sub>	62 mg/L
N.º reactores UASB	4	$\theta$	12,2 d
Vol reactor	421 m <sup>3</sup>	Profundidad	2,0 m
Q/reactor	1010 m <sup>3</sup> /d	Profundidad lodos	0,7 m
Altura del reactor <sub>(RAS 2000)</sub>	5 m	Volumen	49463 m <sup>3</sup>
A total	337 m <sup>2</sup>	V <sub>LODO</sub>	600 m <sup>3</sup> /año
COV	0,25 kgDBO/d·m <sup>3</sup>	Área	2,5 ha
Carga hidráulica	0,13 m/h	% remoción DBO <sub>(supuesto)</sub>	60 %
% remoción DBO <sub>(RAS 2000)</sub>	65 %	DBO <sub>(efluente)</sub>	25 mg/L
DBO <sub>efluente</sub>	62 mg/L	Periodo de desenlode	27 años
V ascensional	0,50 m/h	COV	5,1 gDBO/m <sup>3</sup> d

Los lechos de secado se dimensionan para un área de 0,01 m<sup>2</sup>/habitante (20 % lodo del proceso de lodos activados).

secundario (lagunas, lodos activados, UASB)<sup>(13,14)</sup>. Los resultados obtenidos se muestran en la página siguiente (tabla 13 y figura 8).

**Tabla 11**  
Lechos de secado proceso UASB

Área de lechos	200 m <sup>2</sup>
Área de lechos	0,02 ha

Los costos directos de inversión se calcularon con los costos para sistemas de tratamiento de aguas residuales de los ministerios de Medio Ambiente y de Desarrollo Económico (tabla 12). El costo del tratamiento de lodos se calculó como el 5 % del costo del tratamiento

**Tabla 12**  
Costos directos de inversión para tratamiento de aguas residuales<sup>(14)</sup>

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

**Tabla 13**  
Costos directos de los procesos seleccionados

PTARM	Proceso	Costo total (\$/hab.)		Costo total (20.000 habitantes)	
		Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Lag. anaerobia + lag. facultativa	Preliminar + lagunas (2)	48.400	149.600	968.000.000	2.992.000.000
Lag. facultativas en serie	Preliminar + lagunas (2)	48.400	149.600	968.000.000	2.992.000.000
Lodos activados	Preliminar + lodos activados + Tratamiento de lodos	96.800	294.800	1.936.000.000	5.896.000.000
UASB + lag. estabilización	Preliminar + primario + UASB + Laguna + tratamiento de lodos	117.700	245.300	2.354.000.000	4.906.000.000

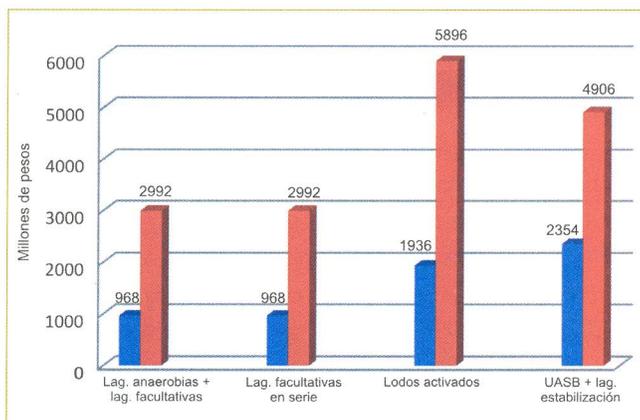


Figura 8. Costos directos de los procesos seleccionados.

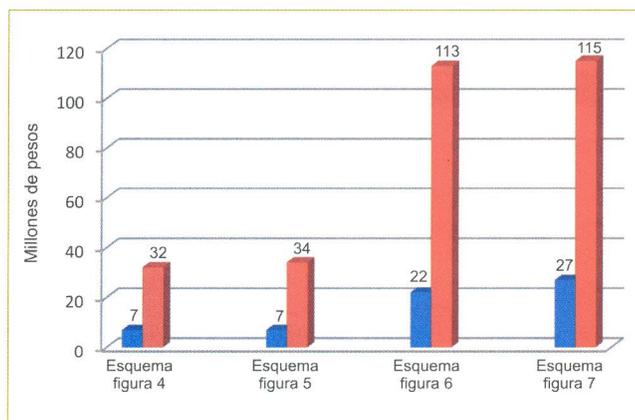


Figura 9. Costos anuales de operación de una PTARM para 20.000 habitantes.

A renglón seguido se presentan los costos de operación de sistemas de tratamiento de aguas residuales (tabla 14), así como los costos de operación anuales para una población de 20.000 habitantes (tabla 15 y figura 9)<sup>(14)</sup>. Los costos en pesos colombianos se calcularon para una tasa representativa del mercado (TRM dólar) igual a \$1775,80<sup>(15)</sup>.

Tabla 14

Costos de operación de sistemas de tratamiento de aguas residuales<sup>(14)</sup>

Tratamiento	Rango de costo US\$/hab.año	
Preliminar	0,07	0,3
Primario	0,15	0,27
Lodos activados	0,23	0,81
Lagunas facultativas	0,07	0,27
Lagunas anaerobias	0,07	0,27
UASB	0,15	0,27
Tratamiento de lodos	0,31	2,08

Los criterios de evaluación y selección de la alternativa óptima fueron costo directo, costo de operación, requisitos de tratamiento, complejidad, producción y manejo de lodos, impacto ambiental y disponibilidad de terreno, a los cuales se les asigna su importancia (tabla 16).

Así mismo, se incluye la matriz de evaluación y selección de la alternativa óptima, de acuerdo con el peso asignado a cada criterio de importancia para cada esquema de PTARM. A cada criterio de importancia se le da un peso máximo de 10 y mínimo de 0, para una valoración máxima total de 1000 (tabla 17).

Igualmente, se dedujo que la alternativa óptima, según los criterios y pesos asignados, para usarla en ciudades con menos de 20.000 habitantes es la de lagunas facultativas en serie (tabla 17 y figura 5).

Tabla 15

Costos de operación de una PTARM para 20.000 habitantes

PTARM	Proceso	Rango de costo US\$/hab.año		Rango de costo 20.000 habitantes		Rango de costo 20.000 habitantes (\$/año)	
Lag. anaerobia + Lag. facultativa	Preliminar + laguna anaerobia + lag. facultativa	0,21	0,90	4.200	18.000	7.458.360	31.964.400
Lag. facultativas en serie	Preliminar + lagunas facultativas <sup>(2)</sup>	0,21	0,96	4.200	19.200	7.458.360	34.095.360
Lodos activados	Preliminar + lodos activados + tratamiento	0,61	3,19	12.200	63.800	21.664.760	113.296.040
UASB + lag. estabilización	Preliminar + primario + UASB + laguna + tratamiento de lodos	0,75	3,25	15.000	65.000	26.637.000	115.427.000

**Tabla 16**  
Importancia de los factores de selección de la PTARM

Ítem	%	Observaciones
Costo inicial	20	Los municipios no buscan sólo cumplir con la normatividad colombiana sino que buscan que la alternativa seleccionada tenga el menor impacto económico posible, pues esto también influye en el cobro del servicio público de los usuarios inscritos. Además, a cada municipio se le asignan recursos para obras públicas y es por esto que estos buscan optimizar el costo y mantenimiento de las obras a realizar.
Costo de operación	20	De acuerdo con el análisis realizado, el sistema de tratamiento de aguas residuales más empleado en Colombia por los municipios es el de Lagunas de Estabilización, por ser menos costoso de construir, operar y mantener que los procesos mecánicos.
Requisitos de tratamiento	10	La experiencia indica que los procesos relacionados permiten obtener los requisitos de tratamiento exigidos por la norma.
Complejidad	15	Una operación y control simple requiere personal menos calificado y un desempeño más seguro de la PTARM.
Producción y manejo de lodos	15	Si se producen biosólidos o lodos residuales se requiere tratamiento subsiguiente y disposición. este requerimiento supone mayor necesidad de control y supervisión y tiene gran importancia.
Impacto ambiental	10	Las PTARM son un requisito de ley. Sin embargo, su impacto ambiental es importante por la posible presencia de olores, mosquitos y problemas de aceptabilidad por parte de la comunidad.
Disponibilidad de terreno	10	Procesos como las lagunas de estabilización requieren grandes cantidades de área, mientras que procesos como lodos activados o UASB requiere área superficial mínima.
<b>Total</b>	<b>100</b>	

**Tabla 17**  
Matriz de evaluación y selección de la alternativa óptima

Sistema de tratamiento	laguna anaerobia + laguna facultativa			Lagunas facultativas en serie			Lodos activados tipo aireación prolongada			UASB + postratamiento con laguna de estabilización		
	Importancia	Peso	Valor	Importancia	Peso	Valor	Importancia	Peso	Valor	Importancia	Peso	Valor
Costo inicial	20	10	200	20	10	200	20	5	100	20	6	120
Costo de operación	20	10	200	20	10	200	20	5	100	20	6	120
Requisitos de tratamiento	10	5	50	10	6	60	10	9	90	10	9	90
Complejidad	15	10	150	15	10	150	15	6	90	15	6	90
Producción y manejo de lodos	15	10	150	15	10	150	15	4	60	15	4	60
Impacto ambiental	10	40	40	10	6	60	10	8	80	10	6	60
Disponibilidad de terreno	10	4	40	10	4	40	10	8	80	10	7	70
<b>Total</b>	<b>100</b>		<b>830</b>	<b>100</b>		<b>860</b>	<b>100</b>		<b>600</b>	<b>100</b>		<b>610</b>

## CONCLUSIONES

- Colombia cuenta con 922 municipios con población urbana menor de 20.000 habitantes, de los cuales sólo 266, el 29%, poseen PTARM.
- Los tratamientos más empleados, en las 266 ciudades con PTARM, son lagunas de estabilización y lodos activados, 25 y 10%, respectivamente.
- Como opciones de tratamiento, a emplear en ciudades con población inferior a 20.000 habitantes, se plantearon cuatro esquemas de tratamiento secundario:
  - Tratamiento preliminar + laguna anaerobia + laguna facultativa.
  - Tratamiento preliminar + dos lagunas facultativas en serie
  - Tratamiento preliminar + lodos activados tipo aireación prolongada.
  - Tratamiento preliminar + tratamiento primario + UASB + laguna facultativa.
- La alternativa óptima de tratamiento se seleccionó con base en los siguientes criterios de importancia: costo inicial, costo de operación y mantenimiento, requisitos de tratamiento, complejidad, producción y manejo de lodos, impacto ambiental y disponibilidad de terreno.
- De acuerdo con los pesos asignados a cada criterio, en cada sistema de tratamiento, se obtiene que la alternativa de tratamiento secundario más recomendable para municipios con población urbana  $\leq$  20.000 habitantes es la de tratamiento preliminar con dos lagunas facultativas en serie.

## REFERENCIAS

1. Galvis R., Andrea del Pilar (2012, agosto). Alternativas de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, PTARM, para ciudades con población menor o igual a 20.000 habitantes. Tesis maestría en Ingeniería Civil. Centro de Estudios Ambientales Escuela Colombiana de Ingeniería.
2. *El agua potable y el saneamiento básico en los planes de desarrollo* (2012). Capítulo 1: El estado del agua, el alcantarillado y los residuos sólidos en los municipios, <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd59/infancia/cap3-1.pdf>. 5 de abril.
3. Dane (2012). <http://www.dane.gov.co>. 3 de marzo.
4. Superintendencia de Servicios Públicos (2009, noviembre). Sistemas de alcantarillado en Colombia.
5. MAVDT (2010). Decreto 3930.
6. Comunidad Europea (1991). Directiva del consejo del 21 de mayo, 91-271-CEE.
7. Spërling, M. & Oliveira, S.C. (2009). Comparative performance evaluation of full-scale anaerobic and aerobic wastewater treatment processes in Brazil. *Water Science & Technology* (WST), (59),1.
8. Ministerio de Desarrollo Económico (2000). Resolución 1096, RAS 2000, 17 de noviembre.
9. Ministerio de Agricultura (1984). Decreto 1594, 26 de junio.
10. Corporación Autónoma Regional (CAR). Consolidado de muestreos y análisis fase I y II, noviembre de 2010.
11. Romero R., Jairo A. (2010). *Tratamiento de aguas residuales: teoría y principios de diseño*. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
12. Romero R., Jairo A. (2008). *Lagunas de estabilización de aguas residuales*. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
13. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2008). Guía de acceso, presentación y viabilización de proyectos del sector de agua potable y saneamiento a financiar mediante el mecanismo de ventanilla única.
14. Ministerio del Medio Ambiente (2002). *Gestión para el manejo, tratamiento y disposición final de las aguas residuales municipales*.
15. Periódico *El Tiempo* (2012). [www.eltiempo.com](http://www.eltiempo.com). 21 de julio.