

# EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA PROVINCIA COMUNERA, SANTANDER, COLOMBIA

## *Evaluation of the efficiency of wastewater treatment systems in the Comunera province, Santander-Colombia*

*Línea de investigación: Prevención y control de la contaminación.*

*Wilmer Ferney Hernández Gómez - Ingeniero Ambiental, Universidad Libre, ing-wil89@hotmail.com*

*Sergio Andrés Larrota Rangel - Ingeniero Ambiental, Universidad Libre, ing.sergiolarrota@hotmail.com*

*Fecha de recepción: enero de 2018. Fecha de aceptación: abril de 2018*

ISSN: 2590-6704

### RESUMEN

“El deterioro de las fuentes de abastecimiento de agua incide directamente en el nivel de riesgo sanitario presente y en el tipo de tratamiento requerido para su reducción; la evaluación de la calidad del agua permite tomar acciones de control y mitigación del mismo, garantizando el suministro de agua segura” (Torres, Cruz, & Patiño, 2009, p. 79), con este estudio se buscó dar claridad de la eficiencia en la actualidad de las plantas de tratamiento de agua residual (PTAR) en la provincia comunera, para lo cual se recolectó información bibliográfica de las diferentes bases de datos y a su vez se pidió información referente a las PTAR en sus respectivos municipios, con esta información se procedió a realizar el análisis estadístico de las diferentes variables que llevaron a concluir que solo el 23% de los municipios de la provincia cuentan con sistema de tratamiento y que a su vez estos se encuentran con altos márgenes de diferencia en cuanto a su eficiencia, demostrando ser la PTAR del municipio de Guapota la más eficiente al estudiar la remoción de los diferentes parámetros.

### Palabras Clave

Caudal, Eficiencia, Parámetros, Agua Residual, Planta de tratamiento.

### ABSTRACT

The deterioration of water supply sources directly affects the level of health risk present and in the type of treatment required to reduce it; the evaluation of water quality allows to take control actions and mitigate the same, guaranteeing the supply of safe water (Torres et al., 2009, p. 79), This study sought to clarify the efficiency of the wastewater treatment plants in the *Comunera* province, for which bibliographic information was collected from the different databases and at the same time information was requested regarding the wastewater treatment plants in their respective municipalities. With this information, the an statistical analysis of the different variables was carry out, which led to the conclusion that only 23% of the municipalities of the province have a treatment system and that these have high margins of difference in terms of efficiency, showing that the PTAR of the municipality of Guapota is the most efficient when studying the removal of the different parameters.

### Keywords

Flow, Efficiency, Parameters, Residual Water, Treatment Plant

## 1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad el planeta tierra ha sufrido innumerables cambios que han ocasionado una alteración en las condiciones de vida de los seres vivos que allí habitan. Una de las grandes causas generadoras de los cambios presentados es el incremento indiscriminado de la población de seres humanos, los cuales en su necesidad de interactuar y de sobrevivir amplían desenfrenadamente sus territorios, ocupando lugares que en años anteriores pertenecían a diferentes sistemas de vida, en los cuales hacían parte grupos de animales y diversos tipos de vegetación, que fusionados mantenían un equilibrio en dicho planeta.

Al aumentar la población de humanos en la tierra se han expandido los principales centros urbanos teniendo la necesidad de crear una serie de elementos que ayuden a satisfacer las necesidades básicas de las nuevas comunidades; enmarcadas en la construcción de viviendas, industrias, centros educativos, centros comerciales, escenarios deportivos, vías entre otros. Todas estas creadas por el hombre con recursos naturales que han sido explotados de forma contundente y afectando la biodiversidad con la que contábamos hace pocos años.

Al ampliar los asentamientos urbanos y todos los elementos que lo componen (casas, edificios, colegios, industrias, etc.) se ha necesitado ampliar la cobertura de los servicios públicos básicos, como lo son acueducto, alcantarillado, aseo, gas, electricidad. Esto debido a la mala planeación en los procesos constructivos por parte de las entidades administrativas de cada una de las comunidades ocasiona un verdadero problema en los núcleos urbanos. Como sucede en el servicio de acueducto y alcantarillado, donde los diseños de construcción no cumplen con las expectativas de los usuarios, pues debido a la ampliación de los territorios urbanos los sistemas son ineficientes y se colmatan con gran facilidad.

“Debido a la creciente escasez mundial de agua, la comunidad científica internacional dedica grandes esfuerzos a la búsqueda de soluciones que permitan el tratamiento y la disposición de aguas residuales de distintas procedencias y la posibilidad de ser reutilizadas en diversos usos” (Véliz Lorenzo, Llanes Ocaña, Fernández García, & Bataller Venta, 2010).

Colombia hace parte de la gran lista de países en vía de desarrollo, por ende carece de capacidad técnica y tecnológica para enfrentar los problemas de ampliación de sus asentamientos urbanos o en su defecto de construcción de los nuevos núcleos urbanos. En nuestro país no es difícil observar industrias que vierten sus aguas residuales a cuerpos de agua, como tampoco, detectar varios centros urbanos tomando agua directamente de algún río sin ningún tipo de tratamiento.

La contaminación presentada en todo el territorio colombiano a causa de las innumerables descargas de aguas residuales provenientes de los grandes, medianos y pequeños asentamientos urbanos a la hidrografía Nacional, generan diferentes afectaciones en los sistemas de vida ocasionando diversas enfermedades y en algunas ocasiones llevándolos a la muerte.

En todo el territorio Nacional se han realizado esfuerzos por mitigar la contaminación de los cuerpos de agua y se han construido Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, que escrito en el papel y en documentos generan porcentajes de remoción muy altos.

La provincia comunera hace parte del Departamento de Santander y es la zona escogida para realizar la revisión en cuanto a la existencia de sistemas de tratamiento de aguas residuales y su respectiva eficiencia. Dicha revisión está enfocada en analizar cada una de estos sistemas para determinar y evaluar si su construcción está ayudando a la desaceleración de la contaminación de la red hidrológica de la zona de estudio, esto basándose en información recolectada de los diferentes municipios que cuentan con plantas de tratamiento de agua residual quienes a su vez han realizado los respectivos análisis paramétricos.

Esta evaluación constituye un análisis detallado de la situación actual de los sistemas de tratamiento de aguas residuales de los municipios que comprenden la provincia comunera, resultando de ello un documento específico que determina la eficiencia de los sistemas y especifica que tan buena inversión ha sido para la comunidad su construcción.

Investigar sobre este tema ayudara a los entes administrativos de cada municipio a comprender que los sistemas de tratamiento de aguas residuales son construcciones serias, que dependen de ciertos estudios y análisis previos, y de diseños acompañados de buena técnica y tecnología realizados por personal altamente calificado. También entenderán que los sistemas de tratamiento de aguas residuales pueden llegar a ser totalmente diferentes en cada municipio y que no se deben centrar en un solo diseño para todos.

También se pretende recopilar de cada sistema de tratamiento y su respetivo entorno, ya que se podrá especificar los niveles de eficiencia de cada uno de ellos y su interacción con la comunidad que residen en dichos lugares, alertando ante una posible afectación a la salud de ellos.

Es necesario generar cambios representativos que faciliten la solución de los problemas presentados, esta evaluación pretende ser la base informativa que motive a la ejecución de planes de mejora que contribuyan en el cuidado de los cuerpos de agua de los diversos municipios afectados, los cuales basan sus intenciones de mitigar esta contaminación con sistemas de tratamiento de aguas residuales obsoletos y carentes de tecnologías apropiadas para tal fin.

Es importante crear criterios que apoyen un trabajo serio y responsable de parte de todos los organismos encargados de la planificación y construcción de las plantas de tratamiento que garanticen la salud de la población y conserven el medio ambiente.

## 2. MARCO REFERENCIAL

A medida que la especie humana se propagó en la Tierra, organizándose en clanes y sociedades, desarrollo y produjo bienes y servicios destinados a atender necesidades cada vez más complejas. El hombre, con miras a su sobrevivencia y bienestar, en busca de lo que se convino llamar “progreso”, transforma constantemente el medio en el que vive, lo que en una escala mayor corresponde al propio Planeta Tierra. El cual, por otro lado, está también en constante transformación, reestructurando y reequilibrando sus aspectos físicos, químicos y biológicos, en una especie de equilibrio dinámico. En las últimas décadas, las acciones

humanas han acelerado dicha transformación, haciendo el equilibrio del planeta cada vez más frágil y difícil (Matsumoto, Ortiz, & Andrés, 2016, p. 177), permitiendo que entre otras cosas como afirma (Montoya, Loaiza, Torres, Cruz, & Escobar, 2011) “Los fenómenos ambientales provocan fuerte impacto sobre la variación de la calidad del agua de fuentes de abastecimiento”. Estas transformaciones involucran la gran cantidad de recursos del planeta, entre ellos, el recurso hídrico, sin tener en cuenta en muchos casos la importancia de cuidar de este. “El agua es un recurso necesario y vital para el ser humano así como para el desarrollo de los ecosistemas, por tal razón cuidarlo y preservarlo tiene mucha importancia para la vida actual y de generaciones futuras” (Osorio, Canepa, & Paz, 2014). (Matsumoto et al., 2016) propone que “Para reducir la contaminación del agua, y de esta manera también disminuir los impactos ambientales, se hace necesario el tratamiento de los efluentes; para ello se puede recurrir al tratamiento en el lugar de su generación, o fuera del local donde se originan las aguas residuales” (p.177). El estudio de un tratamiento de aguas residuales se inicia por una caracterización física química y microbiológica de las mismas y un análisis del inventario de vertidos y de su posible reducción; (...). Las aguas residuales traen problemas al ambiente y por ende a la salud debido a que contienen gran cantidad de materia orgánica, microorganismos patógenos, metales pesados, sólidos en suspensión, sólidos volátiles; y, otros que sin su debido tratamiento pueden agravar al ecosistema y a la vida en sí (Borja & Santiago, 2012).

“El tratamiento de las aguas residuales domésticas puede llevarse a cabo mediante diversos métodos. Estos pueden alternarse de diferentes maneras, lo que ofrecerá como resultado diferentes secuencias de operaciones y procesos. Todos estos se basan en fenómenos físicos, químicos y biológicos” (Correa Restrepo, 2008) y “es importante dar a conocer que el agua residual empieza a pasar por el tratamiento primario, luego pasa por el tratamiento secundario, después finaliza con el tratamiento terciario (...) no hay que construir todos los procesos de tratamiento en una planta, sino aquellos que eliminen los contaminantes requeridos para la localidad” (Espín & Andrés, 2012), aunque como dice (Anzola Rojas, Oliveira Netto, & Zaiat, 2008) “se requiera de un pos tratamiento para la obtención de los niveles exigidos por la legislación”. En la siguiente figura se puede apreciar el esquema de secuencia de los diferentes procesos de tratamiento.



control y operación del sistema de lagunas (demanda bioquímica de oxígeno o DBO, demanda química de oxígeno o DQO, grasas, sólidos, pH y temperatura) indican que el desempeño de las lagunas es acorde con la normativa para el vertido de aguas residuales, pero las mediciones de caudales máximos mensuales revelaron que el sistema de lagunas superó el caudal máximo de diseño en el 73% de las mediciones realizadas (Deloya-Martínez, 2009, p. 60).

También se revisó información correspondiente al trabajo realizado sobre el diagnóstico del desempeño de la PTAR de Sao Joao de Iracema en la remoción de dichos parámetros. (...) Se registraron acumulaciones de lodos del 1,3 y 6,5% del volumen de las lagunas anaerobia y facultativa; la remoción media de DBO fue del 73,6%, inferior al 80% recomendado por la legislación brasilera; la cantidad media de coliformes fecales en el efluente final fue de  $9,55 \cdot 10^6/100\text{mL}$ , que superó el máximo permitido de  $1000/100\text{mL}$ . La PTAR necesita implementar un sistema de pos-tratamiento que garantice remoción adicional de materia orgánica y coliformes para ajustar el efluente a la normatividad ambiental (Matsumoto et al., 2016).

Por otra parte se halló información para analizar acerca de un trabajo correspondiente a: “la evaluación a escala de laboratorio de la eficiencia de dos procesos de tratamiento de aguas residuales municipales, coagulación–floculación y ozonización (cada uno por separado y con la combinación de ambos) con el fin de obtener aguas con características físico químicas y microbiológicas, que permitan su vertimiento seguro o su reúso. Se empleó sulfato de aluminio como coagulante en dosis entre 6 y 100 mg/L y un polímero catiónico comercial como floculante en dosis de 0,5 mg/L; la ozonización se estudió para tres puntos de aplicación (antes, durante y después de la coagulación–floculación). Se evaluó la eficiencia de cada proceso para la turbiedad, los sólidos suspendidos totales, el color, los compuestos orgánicos medidos a 254 nm, la demanda química de oxígeno, el pH y oxígeno disuelto, así como la concentración de coliformes fecales. El esquema más eficiente resultó el de la coagulación–floculación con una posterior ozonización, con remociones de contaminantes físico químicos y de coliformes fecales superiores al 90 y 99,999 % respectivamente” (Véliz Lorenzo et al., 2010, p. 49).

En suma a lo anterior un estudio encontrado fue: “la evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales

del conjunto residencial Nueva Guaiçá consistió primeramente en la caracterización fisicoquímica del afluente y efluente de la planta de tratamiento, lo que permitió clasificar el agua de entrada a la planta como “débil” debido a que el promedio de la concentración de sólidos totales a la entrada fue de 680 mg/l. Se pudo observar en las inspecciones realizadas a la planta que esta presenta problemas de espuma y de abultamiento de lodos por lo que se estudiaron los factores que podían estar afectando el sistema (caudal, tiempo de retención hidráulica, índice volumétrico de lodos, velocidad de sedimentación, DQO, pH y temperatura) obteniéndose que el caudal de entrada del agua residual es  $85,54 \text{ m}^3/\text{día}$ , lo que indicó que la planta está operando a un 50,32% de su caudal de diseño lo que a su vez incrementa el tiempo de retención hidráulica en el reactor biológico a 14,25 horas y trae como consecuencia que el IVL se mantuviera el 60% del tiempo de muestreo por encima del límite recomendado en los procesos de lodo activado convencional. La eficiencia obtenida en los procesos de remoción de sólidos totales y remoción de la demanda química de oxígeno fue menor al 50%” (Mata, 2010).

Adicionalmente se encontró una investigación en la que se evaluaba el: “desempeño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ilha Solteira-SP durante las diferentes épocas climáticas del año. Se realizó un levantamiento batimétrico de las lagunas facultativas primarias, un monitoreo de 24 horas y el seguimiento de su desempeño en 3 etapas de colecta de 3 meses de duración cada una. La planta tuvo cerca del 40% de su volumen efectivo ocupado por lodos; el efluente final registró una eficiencia media de remoción de la DBO de 80,2%; únicamente 3 muestras reportaron valores de NMP de Coliformes Fecales menores al tope de  $1000/100\text{mL}$  definidos por la legislación; en la tercera etapa, los valores de sólidos sedimentables superaron el límite permisible de 1,0 mL/L. La mayor parte del tiempo y pese a las variaciones climáticas,

la planta cumplió con la normatividad ambiental brasilera en términos de remoción de DBO y sólidos sedimentables, pero transgredió la norma en cuanto a NMP de Coliformes Fecales, evidenciando la necesidad de implementar un sistema de pos tratamiento que reduzca los eventuales impactos ambientales producidos por los efluentes y los riesgos a la salud pública en la zona de descarga y aguas abajo del vertimiento” (Sánchez Ortiz & Matsumoto, 2012, p. 200).

### 3. METODOLOGÍA

Inicialmente se realizó la búsqueda de documentos que tuvieran similitud con el tema a investigar o que pudieran dar un aporte al proceso de investigación planteado, al finalizar la búsqueda se obtuvo un total de veinte cinco documentos que aportan a la investigación que fueron extraídos de la Base de Datos de la Universidad Libre de Colombia en Socorro.

Seguido de haber analizado diferentes artículos que hablan sobre el tema se procedió a la recolección de información en

todos los municipios que pertenecen a la provincia comunera, esto con el fin de saber si el municipio contaba o no con PTAR (Planta de Tratamiento de Agua Residual) y si la tenían recolectar información sobre caracterizaciones realizadas a la salida de la planta. Una vez realizada esta búsqueda de la información requerida se procedió a ejecutar un análisis en donde se obtuvo las variables necesarias para cumplir con los requerimientos de la investigación propuesta, las cuales se muestran a continuación:

*Tabla 1. Variables consideradas para el estudio*

VARIABLE	Caudal	Coliformes	pH	Temperatura	DBO	SST	DQO	Eficiencia	ESTADO
		Fecales							PTAR
TIPO DE VARIABLE	Escala	Escala	Escala	Escala	Escala	Escala	Escala	Escala	Nominal
SUBTIPO VARIABLE	Continua	Continua	Continua	Continua	Continua	Continua	Continua	Continua	
Rango		0 -- 3000	6 -- 9	20--30	0--90	0--140	0--250	0 -- 100	
Unidades	L/día	NMP/100 ml	pH	°C	mg/l	mg/l	mg/l	%	

*Fuente: Elaboración propia utilizando MS Excel*

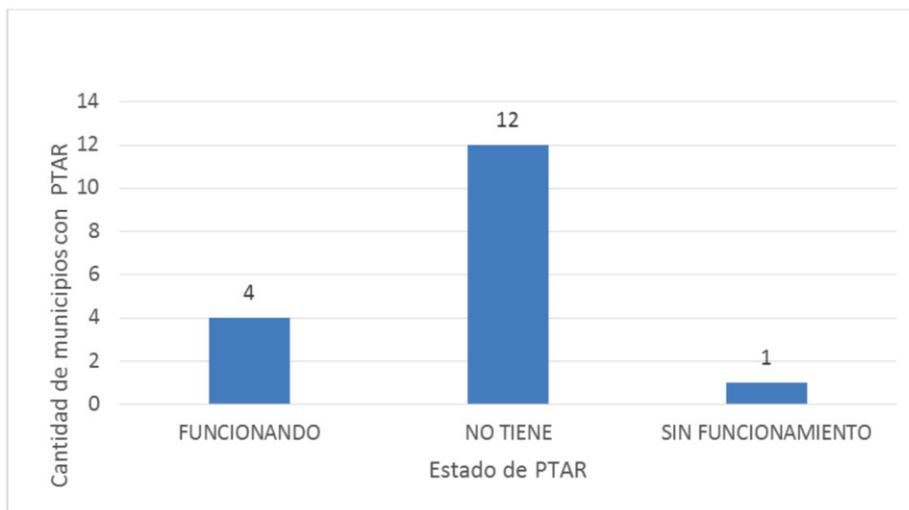
### 4. RESULTADOS

La provincia comunera está conformada por 17 municipios, estos a su vez presentan diferente realidad en cuanto a las plantas de tratamiento de agua residual, a continuación se muestra el estado actual:

*Tabla 2. Estado de PTAR en los municipios de la provincia comunera*

Estado de PTAR	Número de Municipios
FUNCIONANDO	4
NO TIENE	12
SIN FUNCIONAMIENTO	1
<b>Total general</b>	<b>17</b>

*Fuente: Elaboración propia utilizando MS Excel*

**Figura 2.** Estado de PTAR vs Numero de municipios de la provincia comunera

**Fuente:** Elaboración propia utilizando MS Excel

El primer análisis realizado fue entre el recuento de las PTAR con su respectivo estado, en donde se obtuvo que 12 municipios de la provincia comunera no cuenta con un sistema de tratamiento de agua residual, un municipio cuenta con un sistema pero que actualmente no se encuentra en funcionamiento y solo cuatro municipios de la provincia

comunera cuentan con un sistema de tratamiento de agua residual (PTAR).

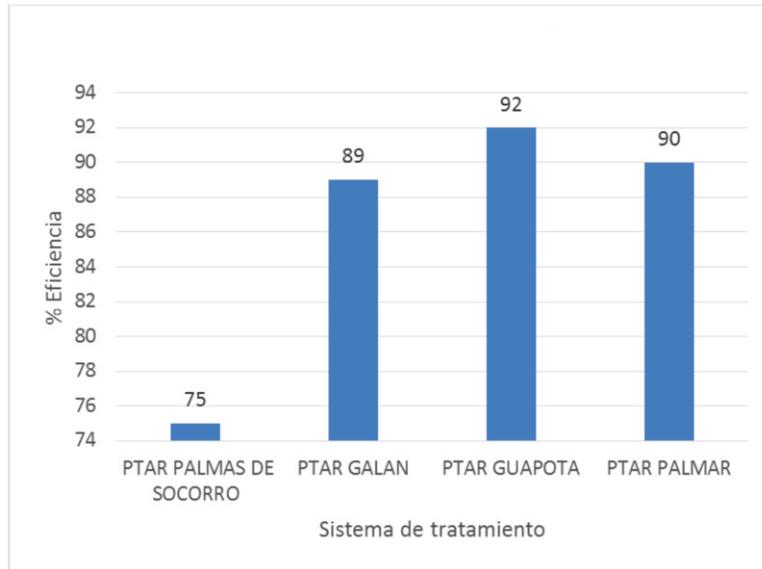
Para los posteriores análisis se tomaron en cuenta los cuatro municipios que si cuentan con planta de tratamiento.

**Tabla 3.** Eficiencia por planta de tratamiento.

MUNICIPIO CON PTAR	Eficiencia (%)
PTAR PALMAS DE SOCORRO	75
PTAR GALAN	89
PTAR GUAPOTA	92
PTAR PALMAR	90
<b>Total general</b>	<b>86.5</b>

**Fuente:** Elaboración propia utilizando MS Excel

Figura 3. Sistema de tratamiento vs Eficiencia



Fuente: Elaboración propia utilizando MS Excel

Para darle cumplimiento al objetivo de este estudio se realizó el cruce de las variables sistema de tratamiento (PTAR) contra su respectiva eficiencia, en donde se encontró que de los cuatro municipios que cuentan con una PTAR la que cuenta con mayor eficiencia en la PTAR del municipio de Guapota,

seguido del municipio del Palmar, municipio de Galán y por último el de menor eficiencia es el municipio de Palmas del Socorro.

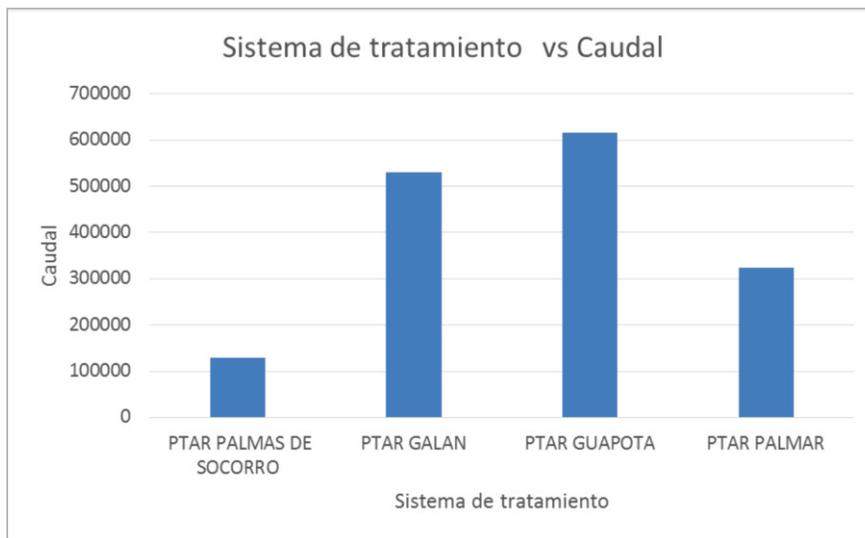
Se realizó también el análisis de la cantidad de caudal que cada una de estas plantas de tratamiento maneja:

Tabla 4. Caudal de cada planta de tratamiento

SISTEMA DE TRATAMIENTO	Caudal (L/día)
PTAR PALMAS DE SOCORRO	129600
PTAR GALAN	530624
PTAR GUAPOTA	615618
PTAR PALMAR	324328
<b>Total general</b>	<b>400042.5</b>

Fuente: Elaboración propia utilizando MS Excel

**Figura 4.** Caudal usado por planta de tratamiento



**Fuente:** Elaboración propia utilizando MS Excel

Mediante el análisis de la variable caudal frente al sistema de tratamiento (PTAR) se obtuvo que la PTAR que trabaja con mayor caudal es la del municipio de Guapota, seguido por el municipio de Galán, seguido por el municipio del Palmar y por último la PTAR que trabaja con menor caudal es la del municipio de Palmas del Socorro.

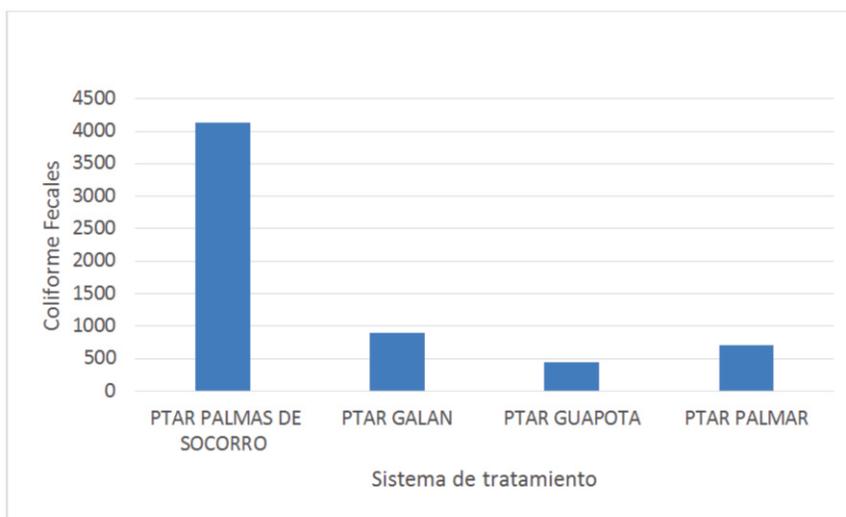
Se procedió a hacer el análisis de parámetros específicos por cada planta de tratamiento, obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 5.** Coliformes fecales de salida por PTAR

SISTEMA DE TRATAMIENTO	Coliformes Fecales
PTAR PALMAS DE SOCORRO	4125
PTAR GALAN	900
PTAR GUAPOTA	450
PTAR PALMAR	700
<b>Total general</b>	<b>1543.75</b>

**Fuente:** Elaboración propia utilizando MS Excel

**Figura 5.** Planta de tratamiento vs Coliformes fecales.



**Fuente:** Elaboración propia utilizando MS Excel

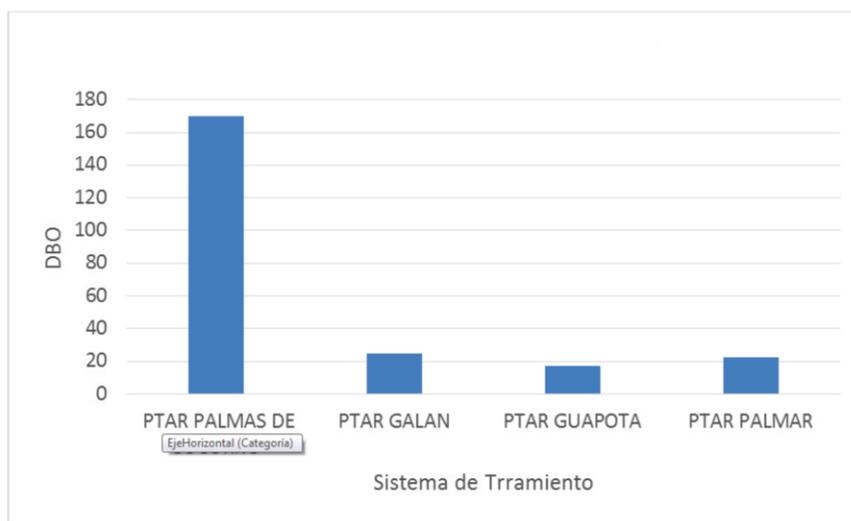
El análisis de las variables que se realizó fue el sistema de tratamiento (PTAR) contra los coliformes fecales, en donde se pudo evidenciar la PTAR que más remueve coliformes fecales es la del municipio de Guapota, seguido del municipio del Palmar, seguido del municipio de Galán y por último se encuentra la del municipio de Palmas del Socorro.

Tabla 6. DBO a la salida de cada planta de tratamiento

SISTEMA DE TRATAMIENTO	DBO (mg/L)
PTAR PALMAS DE SOCORRO	170
PTAR GALAN	24.6
PTAR GUAPOTA	17.1
PTAR PALMAR	22.3
<b>Total general</b>	<b>58.5</b>

Fuente: Elaboración propia utilizando MS Excel

Figura 6. Sistema de tratamiento frente a su respectivo DBO de salida



Fuente: Elaboración propia utilizando MS Excel

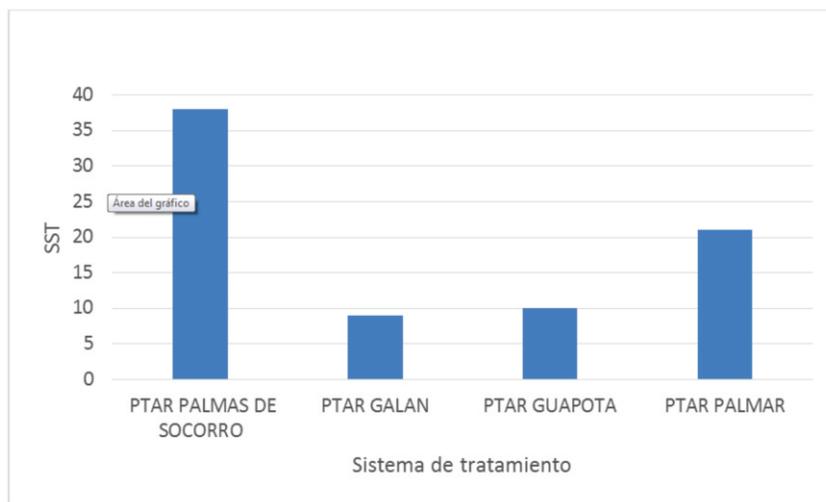
Al analizar el cruce de las variables sistema de tratamiento (PTAR) contra la demanda biológica de oxígeno (DBO) se puede deducir que la PTAR que más vierte DBO pertenece al municipio de Palmas del Socorro, seguido del municipio del Galán, seguido del municipio del Palmar y por último la PTAR con mejor remoción de DBO pertenece al municipio de Guapota.

Tabla 7. Sólidos suspendidos totales a la salida de cada PTAR

SISTEMA DE TRATAMIENTO	SST (mg/L)
PTAR PALMAS DE SOCORRO	38
PTAR GALAN	9
PTAR GUAPOTA	10
PTAR PALMAR	21
<b>Total general</b>	<b>19.5</b>

Fuente: Elaboración propia utilizando MS Excel

**Figura 7.** Sistema de tratamiento vs Sólidos Suspendidos Totales a la salida



**Fuente:** Elaboración propia utilizando MS Excel

El análisis entre el cruce de las variables sistema de tratamiento (PTAR) contra los sólidos suspendidos totales (SST) permitió determinar que la PTAR con mayor remoción de SST pertenece al municipio de Galán, seguido del municipio de Guapota, municipio del Palmar y por último la que más vierte estos sólidos pertenece al municipio del Palmas del Socorro.

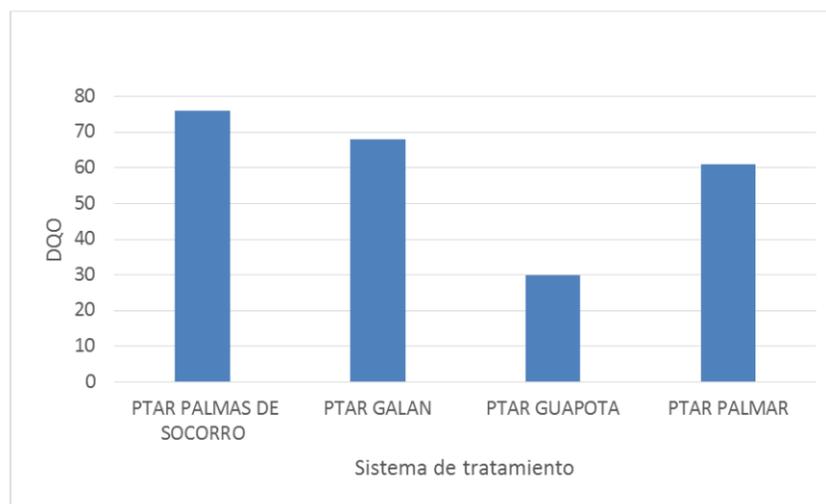
A continuación se analiza la DQO, la cual según (Blanco et al., 2015) “es un indicador que representa indirectamente el contenido de materia orgánica de un residual”.

**Tabla 8.** DQO de salida para cada planta de tratamiento de agua residual

SISTEMA DE TRATAMIENTO	DQO (mg/L)
PTAR PALMAS DE SOCORRO	76.05
PTAR GALAN	68
PTAR GUAPOTA	29.9
PTAR PALMAR	61
<b>Total general</b>	<b>58.7375</b>

**Fuente:** Elaboración propia utilizando MS Excel

**Figura 8.** Sistema de tratamiento vs DQO de salida



**Fuente:** Elaboración propia utilizando MS Excel

En el cruce de las variables sistema de tratamiento (PTAR) vs la demanda química de oxígeno (DQO) se pudo identificar que la PTAR que más vierte DQO pertenece al municipio de Palmas del Socorro, seguido del municipio de Galán, seguido del municipio del Palmar y la PTAR que remueve más la DQO pertenece al municipio de Guapota.

## 5. CONCLUSIONES

Mediante la investigación realizada se dio cumplimiento al objetivo propuesto ya que se pudo determinar cuál es el Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales más eficiente de la provincia Comunera, de los cuatro municipios que cuentan con Sistema de tratamiento de agua residual luego de ser analizados se obtuvo como resultado que el municipio que cuenta con tratamiento más eficiente es el municipio de Guapota debido a que al analizar detenidamente las diferentes variables este municipio obtuvo los mejores resultados en la remoción de contaminantes de aguas residuales.

El municipio que obtuvo la segunda posición en el sistema de tratamiento de agua residual corresponde al municipio del Palmar que cuenta con una eficiencia del noventa por ciento estuvo muy cercana a la eficiencia que maneja el sistema de tratamiento del municipio de Guapota.

Además al analizar los datos obtenidos de las caracterizaciones y cruces que se realizaron con cada una de las variables identificadas se pudo determinar que de los cuatro sistemas de tratamiento de agua residual el menos eficiente pertenece al municipio de Palmas del Socorro debido a su gran cantidad de contaminantes vertidos al medio.

El municipio que ocupa el tercer puesto entre los cuatro analizados es el municipio de Galán, cuenta con una eficiencia del ochenta y nueve por ciento muy cercana a la del municipio del Palmar.

De esta manera se puede concluir además que solo cinco municipios de los diecisiete que pertenecen a la provincia comunera cuentan con un sistema de

tratamiento de agua residual pero uno de ellas cuenta con el sistema pero no lo tienen en funcionamiento, esto representa solo un veintitrés por ciento de los municipios que deberían contar con su respetivo sistema de tratamientos de agua residual.

Si bien como afirma (Rojas-Higuera et al., 2010)“El uso de aguas recicladas para la agricultura ha ido en aumento en los últimos años, especialmente en países donde este recurso hídrico escasea. La calidad microbiológica de este tipo de agua está relacionada fundamentalmente con la calidad del tratamiento”, en este estudio se determinó que de los municipios analizados el agua posterior al tratamiento no es apta para esta función ya que se requiere de mayor depuración de contaminantes para ser suministrada a la población tanto directa como indirectamente

## BIBLIOGRAFÍA

Anzola Rojas, M. del P., Oliveira Netto, A., & Zaiat, M. (2008). Actividad Metanogénica Específica en un Reactor Anaerobio - Aerobio Aplicado al Tratamiento de Agua Residual doméstica. *Interciencia*, 33(4). Recuperado a partir de <http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=33933409>

Blanco, D., Suárez, J., Jiménez, J., González, F., Álvarez, L. M., Cabeza, E., & Verde, J. (2015). Eficiencia del tratamiento de residuales porcinos en digestores de laguna tapada. *Pastos y Forrajes*, 38(4), 441-447.

Borja, B., & Santiago, M. (2012). Diseño de una Planta de Tratamiento para Aguas Residuales de la Ciudad de Guaranda. Recuperado a partir de <http://dspace.espace.edu.ec/handle/123456789/1626>

Correa Restrepo, G. (2008). Evaluación y monitoreo del sistema de lagunas de estabilización del municipio de Santa Fé de Antioquia, Colombia. *instname: Universidad de Antioquia*. Recuperado a partir de <http://bibliotecadigital.udea.edu.co/dspace/handle/10495/50>

Deloya-Martínez, A. (2009). Cumplimiento de la normativa en el sistema de tratamiento de aguas residuales del Instituto Tecnológico de Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, 22(1), 50.

Díaz-Cuenca, E., Alavaredo-Granados, A. R., & Camacho-Calzada, K. E. (2012). El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: el caso de la técnica del sistema unitario de tratamiento de aguas, nutrientes y energía (SUTRANE) en San Miguel Almaya, México. *Quivera*, 14(1). Recuperado a partir de <http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=40123894005>

Espín, F., & Andrés, P. (2012). Análisis y Evaluación de un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales para la Empresa TEIMSA-Ambato. *Recuperado a partir de* <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/2337>

Lahera Ramón, V. (2010). Infraestructura sustentable: Las plantas de tratamiento de aguas residuales. *Quivera*, 12(2). Recuperado a partir de <http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=40115676004>

Mata, K. P. (kaita\_p27@hotmail.com). (2010, diciembre 10). Evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales de un conjunto residencial (thesis). Universidad de Oriente. Recuperado a partir de <http://ri.bib.udo.edu.ve/handle/123456789/2818>

Matsumoto, T., Ortiz, S., & Andrés, I. (2016). Desempeño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de São João de Iracema (Brasil). *Ingeniería*, 21(2), 176-186. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.reving.2016.2.a04>

Montoya, C., Loaiza, D., Torres, P., Cruz, C. H., & Escobar, J. C. (2011). Efecto del incremento en la turbiedad del agua cruda sobre la eficiencia de procesos convencionales de potabilización. *revista eia*, (16). recuperado a partir de <http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=149222630010>

Osorio, j. r., canepa, j. r. l., & paz, r. c. d. (2014). caracterización y propuesta de tratamiento de las aguas residuales generadas en la división académica de ciencias biológicas-ujat. *kuxulkab*, 17(32). <https://doi.org/10.19136/kuxulkab.a17n32.377>

Rodríguez miranda, j. p., garcía ubaque, c. a., & pardo pinzón, j. (2015). selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales. *tecnura*, 19(46). recuperado a partir de <http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=257042318013>

Rojas-higuera, n., sánchez-garibello, a., matiz-villamil, a., salcedo-reyes, j. c., carrascal-camacho, a. k., & pedroza-rodríguez, a. m. (2010). evaluación de tres métodos para la inactivación de coliformes y escherichia coli presentes en agua residual doméstica, empleada para riego. *universitas scientiarum*, 15(2). recuperado a partir de <http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=49913962005>

Sánchez ortiz, i. a., & matsumoto, t. (2012). evaluación del desempeño de la planta de tratamiento de aguas residuales urbanas de ilha solteira (sp) por lagunas facultativas primarias. *ingeniería y desarrollo*, 30(2). recuperado a partir de <http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=85224945005>

Torres, p. (2011). tendencias en el tratamiento de aguas residuales domésticas. recuperado a partir de <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/handle/10893/1515> orres, p., cruz, c. h., & patiño, p. j. (2009). índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano: una revisión crítica. *revista ingenierías universidad de medellín*, 8(15), 79-94.

Véliz lorenzo, e., llanes ocaña, j. g., fernández garcía, l. a., & bataller venta, m. (2010). evaluación de la eficiencia de los procesos de coagulación-floculación y ozonización a escala de laboratorio en el tratamiento de aguas residuales municipales. *revista cenic. ciencias químicas*, 41(1). recuperado a partir de <http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=181618068006>

Zurita-martínez, f., castellanos-hernández, o. a., & rodríguez-sahagún, a. (2011). el tratamiento de las aguas residuales municipales en las comunidades rurales de méxico. *revista mexicana de ciencias agrícolas*, 2(spe1), 139-150.