AGROCIENCIA
Cultivando el conocimiento para un mejor futuro
https://revistaagrociencia.wordpress.com/

Artículo de investigación

DOI:10.5281/zenodo.10805291

Evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de La Palma, departamento de Chalatenango, El Salvador

Evaluation of the wastewater treatment plant in the municipality of La Palma, department of Chalatenango, El Salvador

Avalos-Ochoa, A.A[1]; Pineda Mancía, Y.J[1]; Rodríguez-Urrutia, E.A[2]; Arias-de Linares, A.Y[3]; Arriaza-Alfaro, C.M[4]

RESUMEN

La investigación se realizó del 22 de noviembre de 2017 al 29 de marzo de 2019 en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del municipio de La Palma, departamento de Chalatenango, El Salvador. Ubicada a 1,059 metros sobre el nivel del mar. El objetivo fue evaluar el funcionamiento en cuanto a manejo, operación y mantenimiento de dicha Planta de Tratamiento. Asimismo conocer si cumple con los parámetros establecidos en la Norma Salvadoreña Obligatoria de Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor NSO 13.49.01:09. Se realizaron cinco muestreos de las aguas residuales con 15 submuestras para análisis físico-químicos, microbiológicos y aceites y grasas, los cuales fueron analizados en el laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas, en el laboratorio de la Facultad de Química y Farmacia, y en el Centro de Investigación y Desarrollo en Salud (CENSALUD), todos de la Universidad de El Salvador. Según los resultados obtenidos, la Planta de Tratamiento cumple su función en los parámetros Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), pH, Temperatura, Nitratos y Fosfatos; pero no cumple para los parámetros Coliformes Totales y Fecales, Grasas y Aceites, Sólidos Suspendidos Disueltos, Turbidez, Conductividad eléctrica y Demanda Química de Oxigeno (DQO).

Palabras claves: Planta de tratamiento, aguas residuales, coliformes, análisis fisicoquímicos.

ABSTRACT

The research was carried out from November 22, 2017 to March 29, 2019 at the Wastewater Treatment Plant of the municipality of La Palma, department of Chalatenango, El Salvador, located at 1,059 meters above sea level. The objective was to evaluate the performance in terms of management, operation and maintenance of said Treatment Plant, and also to know if it complies with the parameters established in the Mandatory Salvadoran Standard for Wastewater Discharged to a Receiving Body NSO

1 Departamento de Desarrollo Rural, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador. avalos_8a@yahoo.com y pineda93yariel@gmail.com
2 Director de la Estación Experimental y de Prácticas de la Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador. earu_1663@yahoo.com.mx
3 Profesora Universitaria, Departamento de Química Agrícola, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador. yani_linares@hotmail.com
4 Coordinadora del Centro de Investigación y Desarrollo (CIDE) de la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA). claudia.arriaza@anda.gob.sv

13.49.01: 09. Five samples of wastewater were carried out with 15 subsamples for physical-chemical, microbiological and oil and fat analysis, which were analyzed in the Laboratory of Agricultural Chemistry of the Faculty of Agronomic Sciences, in the laboratory of the Faculty of Chemistry and Pharmacy , and at the Center for Research and Development in Health (CENSALUD), all of the University of El Salvador. According to the results obtained, the Treatment Plant fulfills its function in the Biochemical Oxygen Demand (BOD5), pH, Temperature, Nitrates and Phosphates parameters; but it does not meet the parameters for Total and Fecal Coliforms, Fats and Oils, Dissolved Suspended Solids, Turbidity, Electrical conductivity and Chemical Oxygen Demand (COD).

Key words: Treatment plant, wastewater, coliforms, chemical physics analysis.

INTRODUCCIÓN

Internacionalmente se sabe que 2,600 millones de personas carecen de acceso al saneamiento apropiado en el mundo, según cálculos de la Organización Mundial de la Salud (OMS). Si la tendencia actual se mantiene, para el 2020 se tendrán 3,000 millones de personas sin acceso al saneamiento básico, las regiones con la peor cobertura son el África subsahariana (31%), el sur de Asia (36%) y Oceanía (53%). Los problemas fundamentales que empeoran la situación en muchos países son una infraestructura deficiente, escasez de recursos humanos y medios insuficientes para mejorar la situación (Olea 2013).

El crecimiento de la urbanización y la población humana aumentan los problemas de contaminación y en consecuencia el suministro de agua potable y el tratamiento de las aguas residuales. Debido a esto se han desarrollado diferentes técnicas como el tratamiento aerobio y anaerobio en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, para disminuir la contaminación de ríos y lagos, las cuales están siendo adoptadas por diferentes sectores industriales y municipales, ya que son requisitos exigidos por parte de las autoridades ambientales de El Salvador. La calidad del agua de los ríos de El Salvador es mala, ya que solo el 5% del agua superficial es apta para ser potabilizada mediante procesos convencionales de tratamientos. Casi todas las aguas rebasan los límites establecidos para una buena calidad medioambiental y sanitaria en Demanda Bioquímica de Oxigeno (DBO_5) y coliformes fecales. El agua contaminada y el poco acceso a ella afectan la calidad de vida, la productividad, la salud de la población y de los ingresos de los diferentes sectores, porque las personas pobres del área rural dedican un porcentaje de su tiempo productivo para acarrear agua a sus viviendas (ANDA 2009).

El tratamiento de aguas residuales consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes presentes en el agua efluente del uso humano. El objetivo del tratamiento es producir agua limpia (efluente tratado) o reutilizable en el ambiente y un residuo sólido o fango (también llamado biosólido o lodo) convenientes para su disposición o reutilización (Pérez y Camacho 2011).

En la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de La Palma, Chalatenango, El Salvador, las tareas de saneamiento se realizan de la siguiente manera:

a) Tanque RAFA (Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente (UASB), por sus siglas en inglés): Es un tanque en el cual el agua residual ingresa por el fondo, distribuyéndose de manera uniforme desde el fondo hacia la superficie. El tratamiento se produce cuando el agua residual entra en contacto con las partículas que son capas de lodo formadas por gránulos de 0.5 a 2.0 mm de diámetro.

b) Filtro Biológico: Es de forma rectangular, la función principal es la descomposición de la materia orgánica presente en el agua residual a través de un medio filtrante.

c) Sedimentador Secundario: Es rectangular y permite la retención de las partículas o solidos que se encuentran en suspensión y que son capaces de sedimentar por acción de su propio

peso o por la biofloculación entre ellos, durante un período de retención establecido en dos horas.

d) Tanque de Cloración: Está ubicado como tratamiento final con el fin de desinfectar el efluente con cloro en la forma de sodio o calcio.

e) Digestor de Lodos: La digestión de los lodos extraídos del tanque RAFA y del sedimentador secundario se depositan en un tanque cilíndrico, cuyo diámetro interno es de cinco metros, donde son completamente estabilizados los lodos por acción de bacterias anaerobias y facultativas (SAGRISA 2005).

Cuando las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales están operando, éstas deben seguir un programa de monitoreo y vigilancia continua acerca de su funcionamiento, para saber su eficiencia y solucionar a tiempo los problemas que se estén presentando (Domínguez 2009).

La Norma Salvadoreña de Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor NSO 13.49.01:09, establece las características y valores permisibles que debe presentar el agua residual para proteger los cuerpos receptores. Esta Norma divide las aguas residuales en dos: de carácter ordinario y especial, la primera consiste en el agua residual generada por las actividades domésticas de los seres humanos, tales como uso de servicios sanitarios, lavatorios, fregaderos, lavado de ropa y otras similares; la segunda se refiere a las aguas residuales generadas por actividades agroindustriales, industriales, hospitalarias y todas aquellas que no se consideran de tipo ordinario (MARN 2009).

El objetivo de esta investigación fue evaluar el funcionamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de La Palma, Chalatenango, El Salvador, el cumplimiento de la Norma Salvadoreña de Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor NSO 13.49.01:09, y conocer por medio de análisis físicos, químicos y microbiológicos, si el agua descargada al río, presenta algún tipo de contaminante.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación de la Investigación

La investigación se llevó a cabo en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del municipio de La Palma, departamento de Chalatenango, El Salvador, ubicada a 1,059 metros sobre el nivel del mar, con coordenadas geográficas Latitud 14.3167 y Longitud -89.1667 (ISDEM 2014).

Se evaluaron 12 parámetros: Coliformes Fecales, Coliformes Totales, Demanda Bioquímica de Oxigeno (DBO_5), Demanda Química de Oxigeno (DQO), Sólidos Suspendidos Totales, Aceites y Grasas, Nitratos, Fosfatos, pH, temperatura, turbidez y conductividad eléctrica, y fueron comparados con la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO.13.49.01:09 "Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor", que establece las características y valores permisibles que debe presentar el agua residual para ser descargada a un cuerpo receptor (MARN 2009).

Metodología de Campo

Para el muestreo de la Demanda Química de Oxígeno (DQO), se utilizaron frascos de vidrio color ámbar de un litro de capacidad; para los muestreos de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), Sólidos Suspendidos totales, Grasas y Aceites, Nitratos, Fosfatos, pH, Turbidez, Temperatura y Conductividad Eléctrica, se utilizaron frascos de polietileno de un litro; para las muestras de Coliformes Totales y Coliformes Fecales, se utilizaron frascos de polietileno esterilizados.

Al momento de realizar cada muestreo, los frascos se enjuagaron tres veces antes de proceder a llenarlos, identificando los frascos con las muestras de agua residual con la siguiente información: lugar, fecha, hora del muestreo y análisis realizado; después los frascos fueron depositados en una hielera, teniendo el cuidado de mantener la cadena de frío a una temperatura de más o menos 4°C.

Las muestras de aguas residuales se tomaron entre las 5:30am - 6:00 am, siendo trasladadas a los laboratorios,

debidamente protegidas e identificadas para realizar los análisis.

Metodología de laboratorio

Los análisis de Sólidos Suspendidos, pH, Conductividad, Turbidez, Nitratos, Fosfatos y la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), fueron realizados en el laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas, UES. La primera actividad fue el filtrado, para ello se utilizó papel filtro Whatman número 42, para posteriormente desarrollar los análisis de conductividad eléctrica, sólidos totales y sólidos suspendidos, los que fueron medidos con una Sonda Multiparámetros marca HACH, modelo HQ 40d; el pH y la temperatura se midió con un Peachímetro marca PCE-PH22, el cual se calibró con una solución buffer; la turbidez, nitratos y fosfatos, se analizaron en un Espectrofotómetro marca Shimadzu, modelo AA-7000.

Los análisis de Aceites, Grasas y la Demanda Química de Oxígeno (DQO), se realizaron en el laboratorio Fisicoquímico de Aguas de la Facultad de Química y Farmacia, UES. El análisis de Grasas y Aceites se inició homogenizando la muestra, se midió el pH (ya que para dicho análisis el pH debe ser 2), si la muestra es mayor de 2 se aplica ácido Clorhídrico 1+1, y se midieron 500 ml de la muestra, luego se filtraron. Al finalizar el filtrado, se colocó en una estufa marca LAB-LINE, modelo 3512, a 103°C por 30 minutos, después el filtrado se transfirió a un balón volumétrico con Hexano, se esperó 4 horas para obtener los resultados.

Para el análisis de la Demanda Química de Oxígeno, se utilizó un kit especial marca Nanocolor, el cual contiene una cubeta de reacción, la que se agita y se le agregan 3 ml de muestra de agua, dichos kit se colocaron por 2 horas en un termo reactor a 148°C, luego se tomó la lectura de resultados del parámetro en un fotómetro marca Merck, modelo Nova 60.

Los análisis microbiológicos de Coliformes Fecales y Totales, se realizaron en el Centro de Investigación y Desarrollo en Salud (CENSALUD) de la Universidad de El Salvador. En estos análisis se tomaron 10 ml de cada muestra, realizando varias diluciones con una solución buffer, luego las muestras se pasaron a incubadora. En las primeras 24 horas se observó, si hay viraje de color de café a azul verdoso o fluorescencia y para obtener mejores resultados, se revisaron diariamente dichos virajes de colores por al menos 5 días.

Análisis de datos

Se utilizaron los métodos estadísticos descriptivos multivariados como el Análisis de Correspondencia, con el objetivo de crear un mapa de la posición relativa de las variables cualitativas estudiadas con cada uno de sus valores posibles; una posición que refleje el grado de asociación entre ellas. Así como los Análisis de Componentes Principales, para describir un conjunto de datos en términos de nuevas variables ("componentes") no correlacionadas y así reducir la dimensionalidad de los datos obtenidos. Dichos análisis se realizaron con el software estadístico Infostat.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Siendo el objetivo de la investigación evaluar el funcionamiento de la Planta de Tratamiento en cuanto a manejo, operación y mantenimiento; se realizó la caracterización mediante análisis de laboratorio en los procesos unitarios y el efluente, para comparar el cumplimiento con los valores máximos que establece la Norma NSO 13.49.01:09, y proponer una alternativa para reutilización del agua en agricultura.

Caracterización de las aguas residuales de la Planta de Tratamiento

Demanda Bioquímica de Oxigeno (DBO_5)

Los resultados de los cinco muestreos realizados del efluente o salida de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para el parámetro DBO_5, (Cuadro 1), se observa que en todos los resultados se cumple con la Norma Salvadoreña Obligatoria

NSO.13.49.01:09 "Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor", y se demuestra que la Planta de Tratamiento cumple con el tratamiento para este parámetro. Según Benavidez (2006), la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), permite estimar el consumo de oxígeno que utilizarán las bacterias para degradar la materia orgánica del líquido residual disponible en los sistemas líquidos en 5 días a 20°C. Si este consumo es superior a la cantidad de oxígeno disuelto presente en ese lecho, el mismo entrará en proceso de putrefacción.

Cuadro 1. Resultados de la Demanda Bioquímica de Oxigeno (DBO_5) en el efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

Análisis	Fechas de Muestreos					Parámetro según la Norma NSO.13.49.01:09
	1° muestreo	2° muestreo	3° muestreo	4° muestreo	5° muestreo	
	31-01-2018	16-04-2018	27-04-2018	13-06-2018	27-09-2018	
DBO_5	6.4 mg/l	39 mg/l	36.5 mg/l	9.54 mg/l	10.56 mg/l	60 mg/l

Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Los resultados de los cinco muestreos realizados del efluente o salida de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para el parámetro DQO (Cuadro 2), muestran que el primero, tercero y cuarto muestreo cumplen con la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO.13.49.01:09 "Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor". Según Hidritec (2011), la Demanda Química de Oxígeno es la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar toda la materia orgánica presente en aguas residuales. Representando una medida de la contaminación orgánica de un efluente, siendo un parámetro a controlar dentro de las distintas normativas de vertidos y proporciona una idea del grado de toxicidad del vertido.

Para el 2° muestreo los valores de la DQO, aumentaron significativamente debido a una ruptura de las cañerías en la carretera, permitiendo el ingreso de otro tipo de aguas, materiales y sustancias no deseadas. En el 5° muestreo, los resultados sobrepasan el límite debido al aumento del caudal en la época lluviosa, lo que demuestra que la Planta de Tratamiento cumple parcialmente con el tratamiento para este parámetro (Cuadro 2).

Cuadro 2. Resultados de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) en el efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

Análisis	Fechas de Muestreos					Parámetro según la Norma NSO.13.49.01:09
	1° muestreo	2° muestreo	3° muestreo	4° muestreo	5° muestreo	
	31-01-2018	16-04-2018	27-04-2018	13-06-2018	27-09-2018	
DQO	8 mg/ L	223 mg/L	126.3mg/L	93 mg/L	156 mg/L	150 mg/L

Sólidos Suspendidos Totales

Los resultados de los cinco muestreos realizados del efluente o salida de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para el parámetro Sólidos Suspendidos Totales (Cuadro 3), observándose que todos los resultados no cumplen con la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO.13.49.01:09. La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales no está cumpliendo las funciones para la disminución de este

parámetro debido a que el desarenador tiene algunos problemas y las rejillas que retienen los sólidos deberían evaluarse, si es necesario que sean más finas para disminuir las cantidades de Sólidos Totales Suspendidos que entran a la Planta de Tratamiento.

Según Fluence (2017), los cambios en las concentraciones de los sólidos suspendidos totales pueden ser dañinos, debido a que la densidad del líquido determina el flujo del agua hacia y desde las células de un organismo; por tanto, si las concentraciones de los sólidos suspendidos totales son demasiado altas o demasiado bajas, el crecimiento de gran parte de la vida acuática puede ser limitado y se puede producir la muerte.

Cuadro 3. Resultados de Sólidos Suspendidos Totales en el efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

Análisis	Fechas de Muestreos					Parámetro según la Norma NSO.13.49.01:09
	1° muestreo	2° muestreo	3° muestreo	4° muestreo	5° muestreo	
	31-01-2018	16-04-2018	27-04-2018	13-06-2018	27-09-2018	
Sólidos Suspendidos	141.4 mg/L	202.5 mg/L	64 mg/L	186.1 mg/L	186.2 mg/L	60 mg/L

Fosfatos

En el efluente o salida de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, para el parámetro Fosfatos (Cuadro 4), todos los resultados cumplen con la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO.13.49.01:09 "Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor". Según Bolaños *et al.* (2017), el ion fosfato suele operar como un nutriente del crecimiento de algas, esto quiere decir que cuando existe mayor concentración de fosfatos, crecen las algas de manera desmedida, lo que a su vez afecta la cantidad de oxígeno presente en el agua, dándose un crecimiento descontrolado de la materia orgánica viva, situación que conlleva a una mayor tasa de descomposición que finalmente conduce a un proceso de eutrofización.

Cuadro 4. Resultados de Fosfatos en el efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

Análisis	Fechas de Muestreos					Parámetro según la Norma NSO.13.49.01:09
	1° muestreo	2° muestreo	3° muestreo	4° muestreo	5° muestreo	
	31-01-2018	16-04-2018	27-04-2018	13-06-2018	27-09-2018	
Fósforo	9.7 mg/L	0.16 mg/l	4.1 mg/l	4.3 mg/l	6.8 mg/l	15 mg/l

Nitratos

Los cinco muestreos realizados en el efluente o salida de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (Cuadro 5), cumplen con la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO.13.49.01:09 "Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor". Según Palomares (2013), los nitratos son iones formados por tres átomos de oxígeno y uno de nitrógeno, con una carga negativa (NO_3^-), no tienen color ni sabor y se encuentran en la naturaleza disueltos en el agua. Su presencia natural en las aguas superficiales o subterráneas es consecuencia del ciclo natural del nitrógeno; sin embargo, en determinadas zonas ha habido una alteración de este ciclo en el sentido de que se ha producido un aumento en la concentración de nitratos, debido fundamentalmente a un excesivo

uso de abonos nitrogenados y a su posterior arrastre por las aguas de lluvia o riegos. Actualmente en la Comunidad Europea el nivel máximo permitido de nitratos en aguas potables es de 50 mg/l, siendo 25 mg/l el valor guía.

Cuadro 5. Resultados de Nitratos en el Efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

Análisis	Fechas de Muestreos					Parámetro según la Norma NSO.13.49.01:09
	1° muestreo	2° muestreo	3° muestreo	4° muestreo	5° muestreo	
	31-01-2018	16-04-2018	27-04-18	13-06-2018	27-09-2018	
Nitrógeno total	3.5 mg/l	0.92mg/l	0.73mg/l	0.87mg/l	0.6mg/l	50mg/l

pH

Los resultados de los cinco muestreos realizados del efluente o salida de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para el parámetro pH (Cuadro 6), se observa que todos los resultados cumplen con la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO.13.49.01:09 "Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor".

Cuadro 6. Resultados de pH en el Efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

Análisis	Fechas de Muestreos					Parámetro según la Norma NSO.13.49.01:09
	1° muestreo	2° muestreo	3° muestreo	4° muestreo	5° muestreo	
	31-01-2018	16-04-2018	27-04-2018	13-06-2018	27-09-2018	
pH	7.13	8.25	7.8	7.57	7.55	5.5 - 9.0

Según Espigares y Pérez (s.f.), la actividad biológica se desarrolla dentro de un intervalo de pH generalmente estricto. Un pH que se encuentre entre los valores de 5 a 9, no suele tener un efecto significativo sobre la mayoría de las especies, aunque algunas son muy estrictas a este respecto. Un aspecto importante del pH es la agresividad de las aguas ácidas, que da lugar a la solubilización de sustancias por ataque a los materiales.

Turbidez

Los resultados de los cuatro muestreos realizados del efluente o salida de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para el parámetro Turbidez (Cuadro 7), se observa que todos los resultados no cumplen con la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO.13.49.01:09 "Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor".

Cuadro 7. Resultados de Turbidez en el Efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

Análisis	Muestreos				Parámetro según la Norma NSO.13.49.01:09
	1° muestreo	2° muestreo	3° muestreo	4° muestreo	
	31-01-2018	27-04-2018	13-06-2018	27-09-2018	
Turbidez	8 u	55 u	25 u	21 u	5 unidades

Según los resultados obtenidos, se observa que después que el agua pasa por todos los procesos, disminuye la turbidez significativamente, sin embargo, no se logra cumplir con la Norma. Los altos valores de la turbidez son debidos a los desechos domésticos y a los materiales suspendidos en el agua que llegan a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales. Según Espigares y Pérez (s.f.), la alta turbidez en las aguas residuales se debe a la cantidad de materias en suspensión (limo, materia orgánica y microorganismos). Esta turbidez en las masas de aguas receptoras, afecta la penetración de la luz, lo que causa una menor productividad primaría.

Temperatura

Los resultados de los cinco muestreos realizados del efluente o salida de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para el parámetro Temperatura (Cuadro 8), se observa que se mantiene la temperatura dentro del rango adecuado según la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO.13.49.01:09 "Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor", a excepción del primer muestreo. Según Ruiz (2005), las temperaturas altas ejercen una acción perjudicial sobre las aguas receptoras, pudiendo modificar la flora y fauna de éstas, dando lugar al crecimiento indeseable de algas, hongos, entre otros.

Cuadro 8. Resultados de Temperatura en el Efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

Análisis	Fechas de Muestreos					Parámetro según la Norma NSO.13.49.01:09
	1° muestreo	2° muestreo	3° muestreo	4° muestreo	5° muestreo	
	31-01-2018	16-04- 2018	27-04-2018	13-06-2018	27-09-2018	
Temperatura	19.1° C	22° C	23° C	21° C	22.4° C	20 - 35° C

Conductividad Eléctrica

Los resultados de los cuatro muestreos realizados del efluente o salida de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para el parámetro Conductividad Eléctrica (Cuadro 9), se observa que todos los muestreos no cumplen con la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO.13.49.01:09 "Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor".

Cuadro 9. Resultados de Conductividad Eléctrica en el Efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

Análisis	Muestreos				Parámetro según la Norma NSO.13.49.01:09
	1° muestreo	2° muestreo	3° muestreo	4° muestreo	
	31-01-2018	27-04-2018	13-06-2018	27-09-2018	
Conductividad eléctrica	**296 mS/cm**	**419 mS/cm**	**298 mS/cm**	**336 mS/cm**	500 a 800 mS/cm

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales disminuye los valores de la Conductividad Eléctrica, por lo tanto, el tratamiento dado al agua en la Planta no es adecuado para controlar el parámetro conductividad. La Conductividad Eléctrica indica la facilidad con la que la corriente eléctrica pasa a través del agua residual. Puesto que el agua pura es muy mala conductora de la corriente eléctrica, las conductividades elevadas indican presencia de impurezas, y más concretamente de sales disueltas. Además, la conductividad informa sobre la posibilidad de usar el agua residual tratada para riegos, ya que muchos cultivos son sensibles al contenido de sales disueltas, y la exposición del terreno a riegos

prolongados con aguas muy conductoras puede dar lugar a su inutilización como terreno de cultivo. En este caso la Conductividad eléctrica de la Planta de tratamiento de aguas residuales es bajo, debido a que la temperatura de dicha agua es baja; así como también los Sólidos Disueltos (MOPT s.f.).

Análisis de datos

Medidas de Resumen de Componentes Principales para parámetros físico-químicos

El Componente 1 (CP1) o eje "x" representa el 41.9% de la variación, teniendo mayor representatividad la DQO, la Conductividad y los Sólidos Totales Suspendidos, ya que son los valores que en la Figura 1, se posicionan más al lado derecho. En la Figura 1, el Componente 2 (CP2) o eje "y" representa el 18.9% de la variación, teniendo mayor representatividad el Fósforo total, la temperatura y la DBO_5, ya que son los parámetros que se encuentran en la parte superior del eje "y".

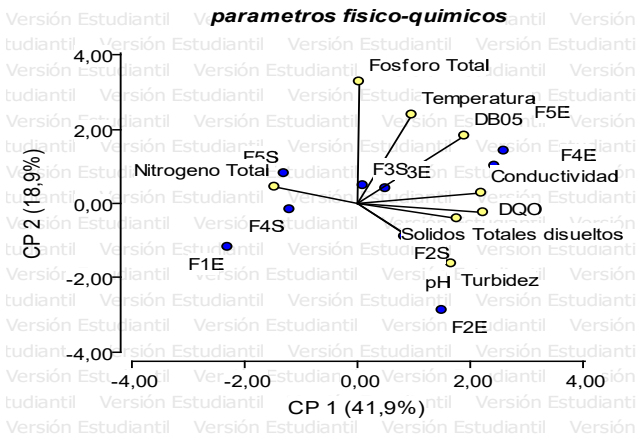


Figura 1. Componentes principales para parámetros físico-químicos

Prueba de Componentes Principales para parámetros físico-químicos

Se realizó la prueba de Componentes Principales a los resultados obtenidos en los análisis de laboratorio de las aguas afluentes y efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales. Los valores más altos son de los parámetros que se presentan en mayores concentraciones y se ordenan en la tabla de mayor a menor, observando en el Cuadro 10 que la DQO se presenta mayormente y el nitrógeno total en menor concentración.

Grasas y aceites

Los resultados de los cinco muestreos realizados del efluente o salida de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para el parámetro Grasas y Aceites (Cuadro 11), se observa que el tercer y cuarto muestreo cumplen con la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO.13.49.01:09 "Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor". Según Aguamarket (2017), el hecho que las grasas y aceites sean menos densos que el agua e inmiscibles con ella, hace que se difundan por la superficie de modo que pequeñas cantidades de grasas y aceites pueden cubrir grandes superficies de agua. Además de producir un impacto estético, reducen la reoxigenación a través de la interfase aire-agua, disminuyen el oxígeno disuelto y absorben la radiación solar, afectando a la actividad fotosintética y, en consecuencia, la producción interna de oxígeno disuelto. Esto encarece los tratamientos de depuración, y algunos aceites, especialmente los minerales, suelen ser tóxicos.

Medidas de resumen para grasas y aceites

En el eje o componente 1 de la Figura 2 el cual representa la variación de resultados para grasas y aceites en las diferentes épocas del año, se observa que el mayor contenido de Grasas y Aceites se encontró en el primer muestreo del efluente (F1S). En el eje o componente 2 de la Figura 2, representa la variación de resultados para grasas y aceites en las diferentes épocas del año, observando que los valores de grasas y aceites más altos corresponden al quinto muestreo del efluente (F5S).

Coliformes fecales

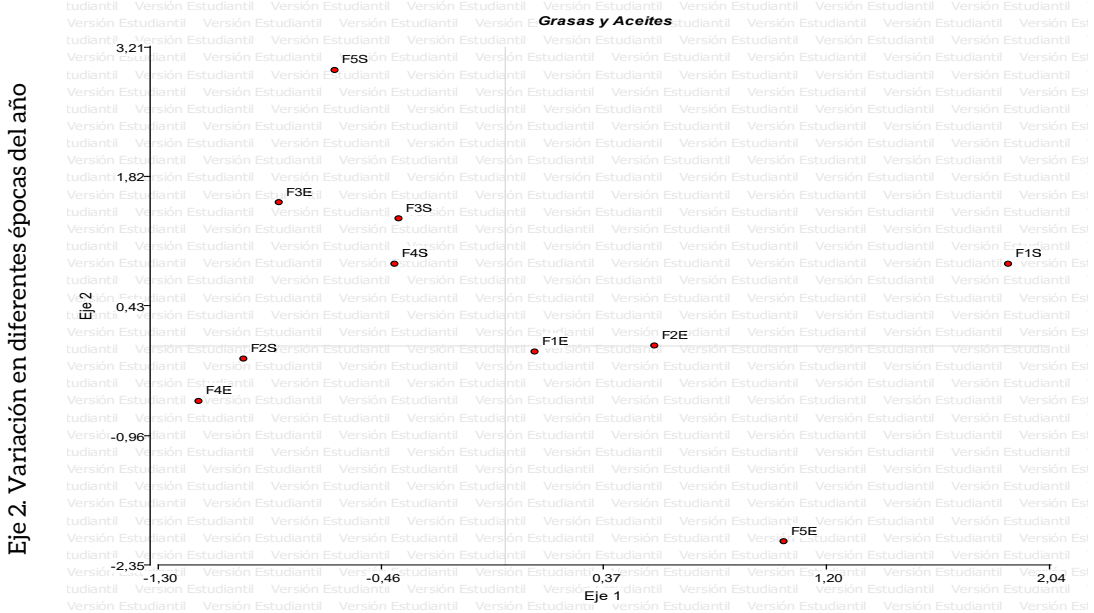
Los resultados de los cinco muestreos realizados del efluente o salida de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para el parámetro Coliformes fecales (Cuadro 12), se observa que únicamente el primer muestreo cumple con la Norma Salvadoreña

Cuadro 10. Resumen de componentes principales para parámetros físico-químicos.

Autovalores				
Lambda	**Valor**	**Proporción**	**Proporción acumulada**	**Parámetro**
1	3,77	0,42	0,42	DQO
2	1,70	0,19	0,61	Conductividad
3	1,57	0,17	0,78	DBO_5
4	1,09	0,12	0,90	Sólidos totales disueltos
5	0,42	0,05	0,95	Turbidez
6	0,30	0,03	0,98	Ph
7	0,13	0,01	1,00	Temperatura
8	0,02	2,3E-03	1,00	Fósforo total
9	1,5E-05	1,6E-06	1,00	Nitrógeno total

Cuadro 11. Resultados de Grasas y Aceites en el Efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

Análisis	**Fechas de muestreos**					**Parámetro según la Norma**
	1° muestreo	**2° muestreo**	**3° muestreo**	**4° muestreo**	**5° muestreo**	
	31-01-2018	16-04-2018	27-04-2018	13-06-2018	27-09-2018	NSO.13.49.01:09
Grasas y Aceites	58 mg/ L	124.2 mg/L	Menor a 10 mg/L	2 mg/L	25 mg/L	20 mg/L



Eje 1. Variación en diferentes épocas del año

Figura 2. Análisis de correspondencia para grasas y aceites

Obligatoria NSO.13.49.01:09 "Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor". En este parámetro los factores que influyen en las altas concentraciones de coliformes fecales son: la cantidad de agua residual que entra en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales es bastante, lo que hace suponer que las aguas lluvias en las viviendas del casco urbano de la ciudad de La Palma están conectadas al sistema de alcantarillado sanitario; además el volteo del material que resulta del filtro biológico no se realiza debido a la poca mano de obra que trabaja en la Planta de Tratamiento.

El grado de desinfección requerido de cualquier sistema de purificación por cloración puede ser obtenido mediante la variación de la dosis y el tiempo de contacto. La dosis varía con base en la demanda de cloro, las características del agua residual y los requisitos de descarga del efluente. La dosis generalmente tiene un rango de 5 a 20 miligramos por litro (mg/L) (EPA 1999). Según Reyes (2016), el hecho de que se den intervalos de valores de las dosis de Cloro es debido a la variabilidad de las características del agua residual. Por ello, siempre que sea factible, es conveniente realizar ensayos de laboratorio para determinar las dosis óptimas de cloro.

Cuadro 12. Resultados de Coliformes fecales en el Efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

Análisis	Fechas de muestreos					Parámetro según la Norma NSO.13.49.01:09
	1° muestreo	2° muestreo	3° muestreo	4° muestreo	5° muestreo	
	31-01-2018	16-04-2018	27-04-2018	13-06-2018	27-09-2018	
Coliformes Fecales	390 NM-P/100mL	Mayor de 160,000 NMP/100 ml	Mayor de 160,000 NMP/100 ml	Mayor de 23,000 NMP/100 mL	Mayor de 23,000 NMP/100 mL	2,000 NMP/100 ml

Coliformes totales

Los resultados de los cinco muestreos realizados del efluente o salida de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para el parámetro Coliformes totales (Cuadro 13), muestran que todos los muestreos no cumplen con la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO.13.49.01:09 "Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor". En este parámetro los factores que influyen en las altas concentraciones de coliformes totales son: el tanque RAFA (Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente) que presentó una ruptura en su parte superior que afecta el proceso de depuración; las dosis de Cloro que están usando y la frecuencia con la que aplican, no logran disminuir las concentraciones de coliformes totales. Según DSENY (2008), el grupo de coliformes totales es menos fiable como indicador, pues no todos los coliformes son exclusivamente de origen fecal y a menudo, la proporción de coliformes no fecales es muy elevada en los climas cálidos.

Cuadro 13. Resultados de Coliformes totales en el Efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

Análisis	Fechas de muestreos					Parámetro según la Norma NSO.13.49.01:09
	1° muestreo	2° muestreo	3° muestreo	4° muestreo	5° muestreo	
	31-01-2018	16-04-2018	27-04-2018	13-06-2018	27-09-2018	
Coliformes Totales	Mayor de 16,000 NMP/100 mL	Mayor de 160,000 NMP/100 mL	Mayor de 160,000 NMP/100 mL	Mayor de 23,000 NMP/100 mL	Mayor de 23,000 NMP/100 mL	10,000 NMP/100 ml

Componentes principales de Coliformes Totales y Fecales.

El componente 1 correspondiente a los muestreos en diferentes épocas del año está explicando el 99.9% de la variación, teniendo igual representatividad los Coliformes Totales y los Coliformes Fecales (Figura 3). En el tercer muestreo del afluente se presentó la mayor cantidad de ambos parámetros, pero los coliformes totales y fecales deben ser analizados todo el año.

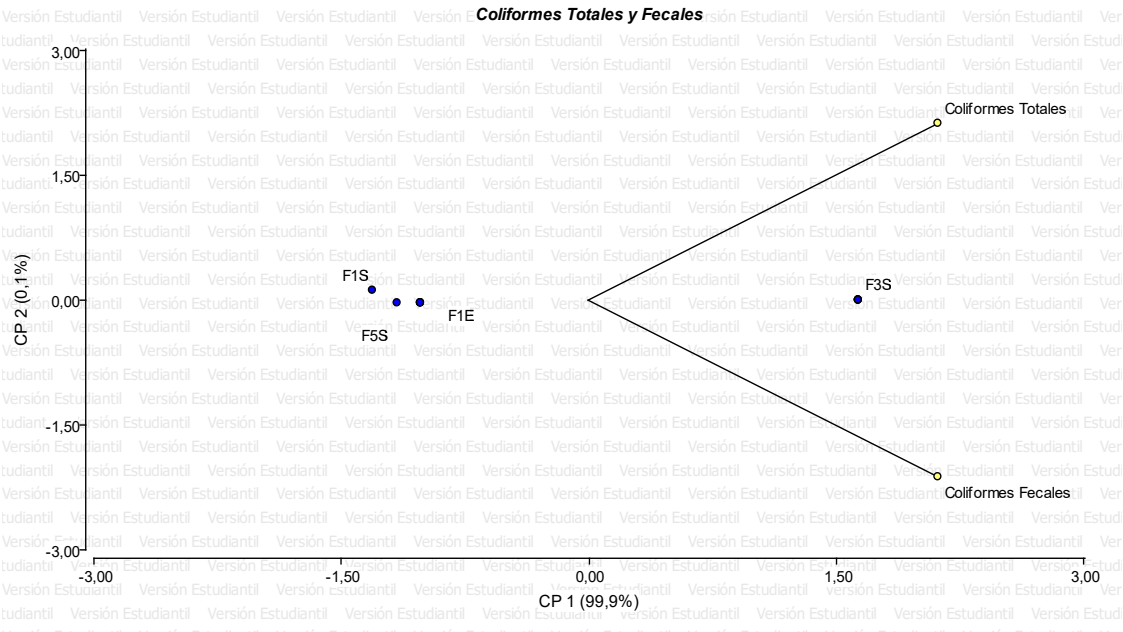


Figura 3. Componentes principales de coliformes totales y fecales

CONCLUSIONES

El agua descargada de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales hacia el río de La Palma, Chalatenango, cumple con la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO.13.49.01:09 "Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor", para los parámetros Demanda Química de Oxigeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigeno (DBO_5), pH, Temperatura, Nitratos y Fosfatos.

El agua descargada de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales hacia el río de La Palma, Chalatenango, no cumple con la Norma NSO.13.49.01:09 para los parámetros: Coliformes Totales, Coliformes Fecales, Turbidez, Conductividad, Sólidos Suspendidos Totales, Aceites y Grasas.

Existe variación en las concentraciones de los parámetros físico-químicos y microbiológicos en las aguas residuales afluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales durante la época seca, transición y lluviosa, cambiando los resultados en cada época.

No se están realizando los muestreos de las aguas residuales necesarios para analizar la calidad del agua tratada que es descargada al río La Palma.

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de La Palma, Chalatenango, no está diseñada para eliminar parámetros microbiológicos.

BIBLIOGRAFÍA

Aguamarket, 2017. Contaminantes del agua, grasas y aceites. (en línea). Santiago, Chile. Consultado 27 de sep. 2018. Disponible en http://www.aguamarket.com/diccionario/terminos.asp?Id=3039

ANDA (Administración Nacional de Acueductos

y Alcantarillados, El Salvador). 2009. Aspectos Generales de El Salvador (en línea). Consultado 28 de enero 2017. Disponible en www.Bnamericas.com/profile/es/wasterwater-tratamiento-planta-san-salvador-ptar-san-salvador

Benavidez Benavidez, LP. 2006. Evaluación De La Planta De Tratamiento De Aguas Residuales de la Central de Sacrificio de Túquerres (Nariño). Colombia. 10p. (en línea). Consultado 06 de nov. 2018. Disponible en https://core.ac.uk/download/pdf/11051512.pdf

Bolaños Alfaro, JD; Cordero Castro, G; Segura Araya, G. 2017. Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica). 17p. (en línea). Consultado 31 de oct. 2016. Disponible en http://www.scielo.sa.cr/pdf/tem/v30n4/0379-3982-tem-30-04-15.pdf

DSENY (Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York, Albany). 2008. Manual de Tratamiento de Aguas. Nueva York, Estados Unidos. Editorial Limusa. p 203.

Domínguez Morera, K. 2009. Evaluación del funcionamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Aeropuerto Internacional Matecaña. Colombia. 1p. (en línea). Consultado 25 de ene. 2017. Disponible en www.Repositorio.utp.edu.co/dspace/handle/11059

EPA (Environmental Protection Agency, Estados Unidos). 1999. Folleto informativo de tecnología de aguas residuales. Desinfección con cloro. (en línea). Consultado 06 de nov. 2018. Disponible en http://www.vypasesores.com/images/sce/docs/Desinfeccion-con-cloro-de-aguas-residuales.pdf

Espigares García, M; Pérez López, J. (s. f.). Aguas Residuales. Composición. (en línea). Consultado 31 de oct. 2017. Disponible en http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residu ales_composicion.pdf

Fluence, 2017. Solidos disueltos y purificación del agua (en línea). NY, USA. Consultado 27 de sep. 2018. Disponible en www.fluencecorp.com/es/purificacion-de-agua-y-solidos-disueltos/

Hidritec. 2011. Tratamiento de aguas Residuales, disminución de DQO. España. (en línea) Consultado 27 de sep. 2018. Disponible en http://www.hidritec.com/hidritec/tratamiento-de-aguas-residuales-y-disminucion-de-dqo

ISDEM (Instituto Nacional de Desarrollo Municipal). 2014. Plan Estratégico Participativo del Municipio (PEP) 2015-2019. (en línea). Consultado 22 de abr. 2019. Disponible en file:///C:/Users/Usuario/Downloads/PEP_MULTIANUAL__LA_PALMA_(1).pdf

MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, El Salvador). 2009. Norma Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor NSO 13.49.01:09. (en línea). Consultado 30 ene. 2017. Disponible en http://www.marn.gob.sv/descarga/norma-aguas-residuales-descargadas-a-cuerpo-receptor-nso-13-49-01-09/

MOPT (Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Costa Rica). s.f. Aguas residuales. (en línea). Consultado 06 de nov. 2017. Disponible en http://cidta.usal.es/residuales/libros/logo/pdf/Aguas_residuales_MOPT.pdf

Olea Madruga, RC. 2013. Evaluación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del municipio de Coatepec, Veracruz. México. 1 p. (en línea). Consultado 26 de ene. 2017. Disponible en www.docplayer.es/9644614-Evaluacion-de-la-planta-de-tratamiento-de-aguas-residuales-del-municipio-de-coatepec-veracruz-html

Palomares, AE. 2013. Contaminación del agua por nitratos y técnicas para su tratamiento. España. (en línea). Consultado 27 de sep. 2018. Disponible en https://www.esferadelagua.es/agua-y-tecnologia/contaminacion-del-agua-por-nitratos-y-tecnicas-para-su-tratamiento

Pérez Alarcón, FE, Camacho Alcalá, KL. 2011. Tecnologías para el tratamiento de aguas

Servidas. (en línea). Consultado 05 ene. 2017. Disponible en http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/29490/1/PerezAlarconyCamachoAlcala.pdf

Reyes López, MG. 2016. Uso del Cloro en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas:

Desinfección y Formación de Subproductos. México. 16p. (en línea). Consultado 06 de nov. 2018. Disponible en https://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/23350/1/Tesis%20Gpe%20Rey es%20.pdf

Ruiz, CJ. 2005. Efecto del vetiver (*Chrysopogon zizanioides L.*) en la reducción del flúor y otros compuestos contaminantes en aguas de consumo humano. Caso: caserío Guarataro, estado Yaracuy, Venezuela. (en línea). Consultados 10 oc. 2017. Disponible en http://www.vetiver.org/LAICV2F/2%20Environmental%20Protection/E6Yasmin_PpS.pdf

SAGRISA (Servicio Agrícola Salvadoreño). 2005. Manual de operación y mantenimiento. Planta de tratamiento de aguas residuales y ampliación de alcantarillado sanitario, municipio de La Palma, Chalatenango. San Salvador, El Salvador. 73p.