

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
DIRECCION DE INVESTIGACION**

TITULO DE LA INVESTIGACIÓN

Código: AI-1902

Evaluación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del municipio de La Palma,
departamento de Chalatenango, El Salvador.

Título a obtener:

Ingeniero Agrónomo.

Datos de los estudiantes.

Nombres, apellidos y formación académica	Dirección	Teléfono y correo electrónico	Firma
Ariel Antonio Avalos Ochoa	Barrio El Centro, La Palma, Chalatenango	7248-2610 avalos_8a@yahoo.com	
Yariel José Pineda Mancía	Barrio El Centro, La Palma, Chalatenango	7575-5952 pineda93yariel@gmail.com	

Datos de los Docentes Directores

Nombres, apellidos y formación académica	Lugar de trabajo	Teléfono y correo electrónico	Firma
Ing. M. Sc. Efraín Antonio Rodríguez Urrutia	Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas	7318-0554 earu_1663@yahoo.com.mx	
Lic. M. Sc. Claudia María Arriaza Alfaro	Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANANDA)	6133-8304 claudia.arriaza@anda.gob.sv	
Lic. M. Sc. Ada Yanira Arias de Linares	Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas	7860-4900 yani_linares@hotmail.com	

Visto bueno:

Coordinador General de Procesos de Graduación del Departamento: Firma:
Ing. Rafael Antonio Espino Barahona

Director General de Procesos de Graduación de la Facultad: Firma:
Ing. M. Sc. Elmer Edgardo Corea Guillen

Jefe del Departamento: Ing. Edgar Marroquín Mena Firma:

Sello:

Lugar y Fecha: Ciudad Universitaria, mayo 2019

Evaluación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del municipio de La Palma, departamento de Chalatenango, El Salvador.

Avalos-Ochoa, AA^{1(*)}; Pineda Mancía, YJ^{1(*)}; Rodríguez-Urrutia, EA^{2(**)}; Arias-de Linares, AY^{3(**)}; Arriaza-Alfaro, CM^{4(**)}.

¹ Estudiantes Tesistas. Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Desarrollo Rural. Correos avalos_8a@yahoo.com y pineda93yariel@gmail.com

² Director de la Estación Experimental y de Prácticas, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador. El Salvador. (503) 7318-0554. earu_1663@yahoo.com.mx

³ Profesora Universitaria. Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Química Agrícola. Correo yani_linares@hotmail.com

⁴ Coordinadora del Centro de Investigación y Desarrollo (CIDE) de la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA). Correo claudia.arriaza@anda.gob.sv

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 era evaluar el funcionamiento en cuanto a manejo, operación y mantenimiento de dicha Planta de Tratamiento, y 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, en cada uno se tomaron 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, 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 su función para los parámetros Coliformes Totales y Fecales, Grasas y Aceites, Sólidos Suspendidos Disueltos, Turbidez, Conductividad eléctrica y Demanda Química de Oxígeno (DQO).

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

ABSTRACT

The research was carried from November 22, 2017 to march 29, 2019 out at the wastewater treatment plant in the municipality of La Palma, Department of Chalatenango, El Salvador, located at 1.059 meters above sea level. The objective was to evaluate the operation in terms of management, operation and maintenance of said Treatment Plant, and to know if it complies with the parameters established in the Salvadoran compulsory standard of wastewater discharged to a receiving body NSO 13.49.01:09.

Five samples of the wastewater were carried out, in each one, 15 subsamples were taken for physical-chemical, microbiological and, oils and fats analyses, which were analyzed in the agricultural Chemistry Laboratory of the Faculty of Agronomic Sciences, In the laboratory of the Faculty of Chemistry and Pharmacy, and in the center of Research and Development in health, all of the University of El Salvador.

According to the results obtained, the treatment plant fulfils its function in the biochemical demand parameters of oxygen (BOD₅), pH, temperature, nitrates and phosphates; But it does not fulfil its function for total and Fecal coliform parameters, fats and oils, dissolved suspended solids, turbidity, electrical conductivity and chemical oxygen demand (COD).

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

I. 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, en 2020 habrá 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.

En El Salvador, la calidad del agua de los ríos 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 Oxígeno (DBO_5) y coliformes fecales. La mala calidad del agua 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, ya que 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 físicos, químicos y biológicos presentes en el agua efluente del uso humano. El objetivo del tratamiento es producir agua limpia (o 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 2011).

En la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de La Palma, Chalatenango, el tratamiento se realiza de la siguiente manera:

- 1) 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 al entrar en contacto el agua residual con las partículas que son capas de lodo formadas por gránulos de microbios de 0.5 a 2 mm de diámetro.
- 2) 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.
- 3) Sedimentador Secundario: Es rectangular, en esta unidad son retenidas las partículas o sólidos que se encuentran en suspensión y que son capaces de sedimentar por acción de su propio peso o por la biofloculación entre ellos, de tipo floculento, durante un período de retención establecido en dos horas.
- 4) Tanque de Cloración: Está ubicado como tratamiento final con el fin de desinfectar el efluente a través del cloro en la forma de sodio o de calcio.
- 5) 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).

Una vez las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales estén operando, éstas deben seguir un programa de monitoreo y vigilancia continua sobre su funcionamiento, para saber qué tan eficiente es y además 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 distingue entre aguas residuales de carácter ordinario como 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; y aguas residuales de tipo especial como el agua residual generada 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, en 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 La Palma presenta algún tipo de contaminante.

II. MATERIALES Y METODOS

2.1. 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 Oxígeno (DBO_5), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendedos 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).

2.2. 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 Suspendedos 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 que se realizara; 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 5:30 am y 6:00 am, y fueron trasladadas hacia los laboratorios debidamente protegidas e identificadas para realizar los análisis.

2.3. Metodología de Laboratorio

Los análisis de Sólidos Suspendidos, pH, Conductividad, Turbidez, Nitratos, Fosfatos y la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) fueron realizados en el laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas. La primera actividad que se realizó con las muestras fue el filtrado, para ello se utilizó papel filtro Whatman número 42, para posteriormente realizar 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 y Grasas, y la Demanda Química de Oxígeno (DQO) se realizaron en el laboratorio Físicoquímico de Aguas de la Facultad de Química y Farmacia. El análisis de Grasas y Aceites se inicia homogenizando la muestra, se mide 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 para bajarlo, al estar el pH adecuado se procedió a medir 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 durante 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). Para estos análisis las muestras no son filtradas, se tomaron 10 ml de cada muestra y se realizaron 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.

2.4. Metodología Estadística

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 también 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 utilizando el software estadístico Infostat.

III. RESULTADOS Y DISCUSION

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.

3.1. Caracterización de las aguas residuales de la Planta de Tratamiento

3.1.1. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

En el cuadro 1 se presentan los resultados de los cinco muestreos realizados del efluente o salida de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para el parámetro DBO₅, en el cual 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.

Cuadro 1. Resultados de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) en el efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

Análisis	Fechas de Muestreos					Parámetros según la Norma NSO.13.49.01:09
	1 ^{er} muestreo	2 ^o muestreo	3 ^{er} muestreo	4 ^o muestreo	5 ^o 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

Según Benavidez (2006), la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) 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.

3.1.2. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

En el cuadro 2 se presentan los resultados de los cinco muestreos realizados del efluente o salida de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para el parámetro DQO, en el cual se observa que el primero el tercero y cuarto muestreo cumplen con la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO.13.49.01:09 “Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor”.

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 ^o muestreo	2 ^o muestreo	3 ^o muestreo	4 ^o muestreo	5 ^o 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

Según Hidritec (2011), la Demanda Química de Oxígeno es la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar toda la materia orgánica presente en un agua residual. Es, por tanto, una medida representativa de la contaminación orgánica de un efluente, siendo un parámetro a controlar dentro de las distintas normativas de vertidos y que da una idea del grado de toxicidad del vertido.

Para el 2^o 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, y para el 5^o 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.

3.1.3. Sólidos Suspendidos Totales

En el cuadro 3 se presentan 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, en el cual se observa que todos los resultados no cumplen con la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO.13.49.01:09.

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
	1º muestreo	2º muestreo	3º muestreo	4º muestreo	5º muestreo	
	31-01-2018	16-04-2018	27-04-2018	13-06-2018	27-09-2018	
Sólidos Suspendidos Totales	141.4 mg/L	202.5 mg/L	64 mg/L	186.1 mg/L	186.2 mg/L	60 mg/L

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 agua determina el flujo del agua hacia y desde las células de un organismo; sin embargo, 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.

3.1.4. Fosfatos

En el cuadro 4 se presentan los resultados de los cinco muestreos realizados del efluente o salida de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para el parámetro Fosfatos, en el cual 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 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
	1º muestreo	2º muestreo	3º muestreo	4º muestreo	5º muestreo	
	31-01-2018	16-04-2018	27-04-2018	13-06-2018	27-09-2018	
Fósforo Total	9.7 mg/L	0.16 mg/l	4.1 mg/l	4.3 mg/l	6.8 mg/l	15 mg/l

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales está cumpliendo su función para este parámetro.

Según Bolaños *et al.* (2017), El ion fosfato suele operar como un nutriente del crecimiento de algas, esto quiere decir que, al existir mayor concentración de fosfatos, crecen las algas de manera desmedida, lo que a su vez afecta la cantidad de oxígeno presente en el agua y, por ende, el crecimiento descontrolado de la materia orgánica viva, situación que conlleva a una mayor tasa de descomposición, que finalmente conduce a un proceso franco de eutrofización.

3.1.5. Nitratos

En el cuadro 5 se presentan los resultados de los cinco muestreos realizados del efluente o salida de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para el parámetro Nitratos, en el cual 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 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
	1º muestreo	2º muestreo	3º muestreo	4º muestreo	5º muestreo	
Nitrógeno total	31-01-2018 3.5 mg/l	16-04-2018 0.92mg/l	27-04-18 0.73mg/l	13-06-2018 0.87mg/l	27-09-2018 0.6mg/l	50mg/l

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales está cumpliendo su función para este parámetro.

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.

3.1.6. pH

En el cuadro 6 se presentan los resultados de los cinco muestreos realizados del efluente o salida de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para el parámetro pH, en el cual 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
	1º muestreo	2º muestreo	3º muestreo	4º muestreo	5º muestreo	
pH	31-01-2018	16-04-2018	27-04-2018	13-06-2018	27-09-2018	5.5 - 9.0

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales está cumpliendo su función para este parámetro.

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.

3.1.7. Turbidez

En el cuadro 7 se presentan los resultados de los cuatro muestreos realizados del efluente o salida de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para el parámetro Turbidez, en el cual 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
	1º muestreo	2º muestreo	3º muestreo	4º 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 redundaría en una menor productividad primaria.

3.1.8. Temperatura

En el cuadro 8 se presentan los resultados de los cinco muestreos realizados del efluente o salida de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para el parámetro Temperatura, en el cual se observa que el primer muestreo no cumple con la Norma

Salvadoreña Obligatoria NSO.13.49.01:09 “Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor”.

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
	1º muestreo	2º muestreo	3º muestreo	4º muestreo	5º 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

Para este parámetro la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales mantiene la temperatura dentro del rango adecuado según la Norma, 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.

3.1.9. Conductividad Eléctrica

En el cuadro 9 se presentan los resultados de los cuatro muestreos realizados del efluente o salida de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para el parámetro Conductividad Eléctrica, en el cual 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
	1º Muestreo	2º Muestreo	3º Muestreo	4º 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 riego, 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.).

3.2. Análisis estadístico

3.2.1. Medidas de Resumen de Componentes Principales para parámetros físico-químicos

En la figura 1 se observa que el Componente 1 (CP1) o eje “x” representa el 41.9% de la variación, teniendo mayor representatividad la DQO, la Conductividad y los Solidos Totales Suspendidos, ya que son los valores que en la figura se posicionan más al lado derecho. En la misma figura, el Componente 2 (CP2) o eje “y” representa el 18.9% de la variación, teniendo mayor representatividad el Fósforo total, la temperatura y la DBO₅, ya que son los parámetros que se encuentran en la parte superior del eje “y”.

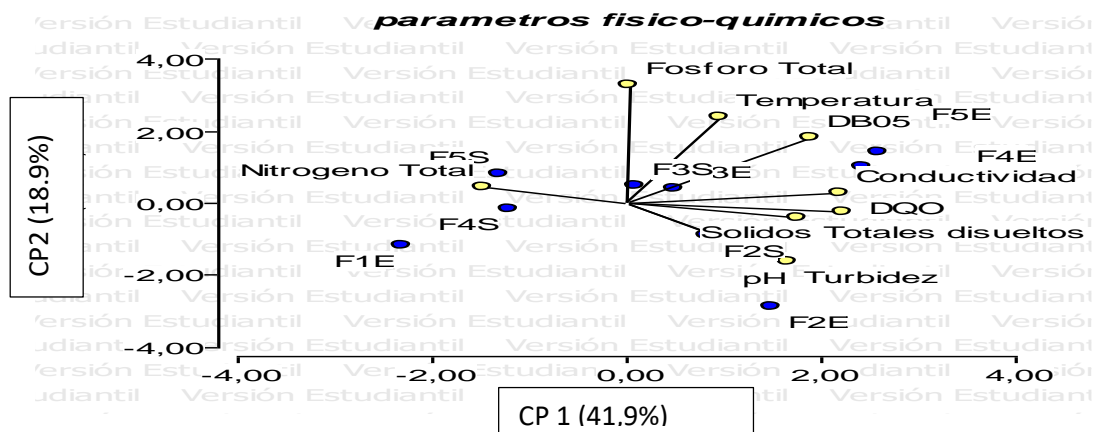


Figura 1. Componentes principales para parámetros físico-químicos

3.2.2. 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, en el cuadro 10 se observa que la DQO se presenta mayormente y el nitrógeno total en menor concentración.

Cuadro 10. Tabla resumen de componentes principales para parámetros físico-químicos.

Autovalores			Proporción acumulada	Parámetro
Lambda	Valor	Proporción		
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	Solidos 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	Fosforo Total
9	1,5E-05	1,6E-06	1,00	Nitrógeno Total

3.3. Grasas y Aceites

En el cuadro 11 se presentan 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, en el cual se observa que solo el tercer y cuarto muestreo cumplen con la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO.13.49.01:09 "Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor".

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 NSO.13.49.01:09
	1º muestreo	2º muestreo	3º Muestreo	4º muestreo	5º muestreo	
	31-01-2018	16-04-2018	27-04-2018	13-06-2018	27-09-2018	
Grasas y Aceites	58 mg/ L	124.2 mg/L	Menor a 10 mg/L	2 mg/L	25 mg/L	20 mg/L

Según Aguamarket (2017), el hecho de 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, disminuyendo el oxígeno disuelto y absorbiendo la radiación solar, afectando a la actividad fotosintética y, en consecuencia, la producción interna de oxígeno disuelto. Encarecen los tratamientos de depuración, y algunos aceites, especialmente los minerales, suelen ser tóxicos.

3.4. Análisis estadístico

3.4.1. 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 el cual representa la variación de resultados para grasas y aceites en las diferentes épocas del año se observa que los valores de Grasas y Aceites más altos corresponden al quinto muestreo del efluente (F5S).

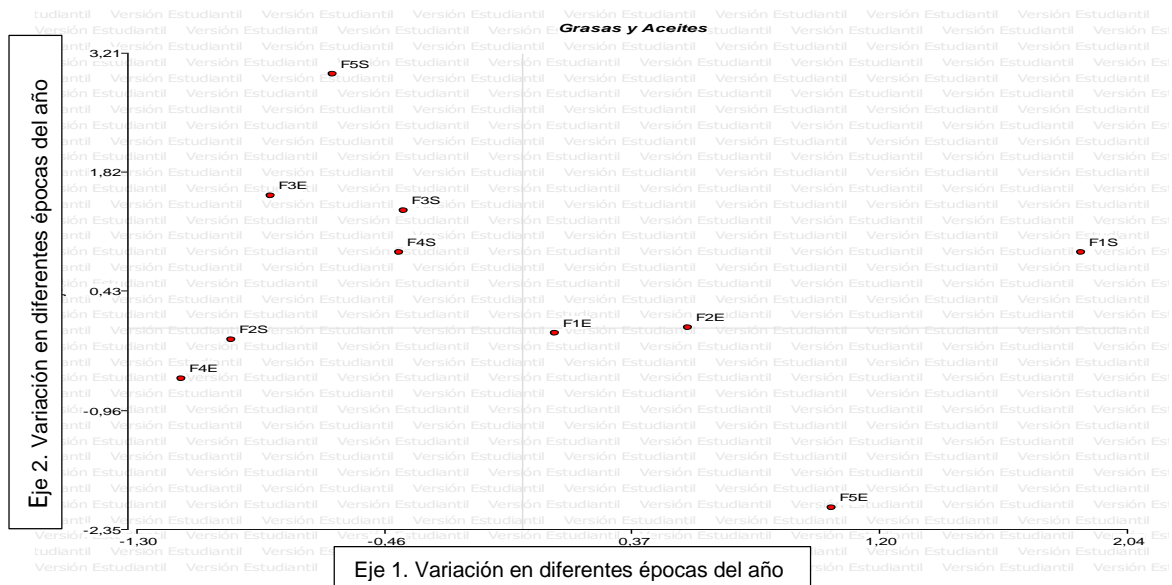


Figura 2. Análisis de correspondencia para Grasas y Aceites

3.5. Coliformes fecales

En el cuadro 12 se presentan los resultados de los cinco muestreos realizados del efluente o salida de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para el parámetro Coliformes fecales, en el cual se observa que solo el primer muestreo cumple con la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO.13.49.01:09 “Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor”.

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
	1º muestreo	2º muestreo	3º muestreo	4º muestreo	5º muestreo	
	31-01-2018	16-04-2018	27-04-2018	13-06-2018	27-09-2018	2,000 NMP/100 ml
Coliformes Fecales	390 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	ml

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; y 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 desinfección por cloración puede ser obtenido mediante la variación de la dosis y el tiempo de contacto. La dosis de cloro 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.

3.5.1. Coliformes totales

En el cuadro 13 se presentan los resultados de los cinco muestreos realizados del efluente o salida de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para el parámetro Coliformes totales, en el cual 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 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
	1º muestreo	2º muestreo	3º muestreo	4º muestreo	5º 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 MI	Mayor de 23,000 NMP/100 mL	Mayor de 23,000 NMP/100 mL	10,000 NMP/100 ml

En este parámetro los factores que influyen en las altas concentraciones de coliformes totales son: el tanque RAFA (Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente) tuvo una ruptura en su parte superior, lo cual 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.

3.6. Análisis estadístico

3.6.1. Componentes principales de Coliformes Totales y Fecales.

En la figura 3 se observa que 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. 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.

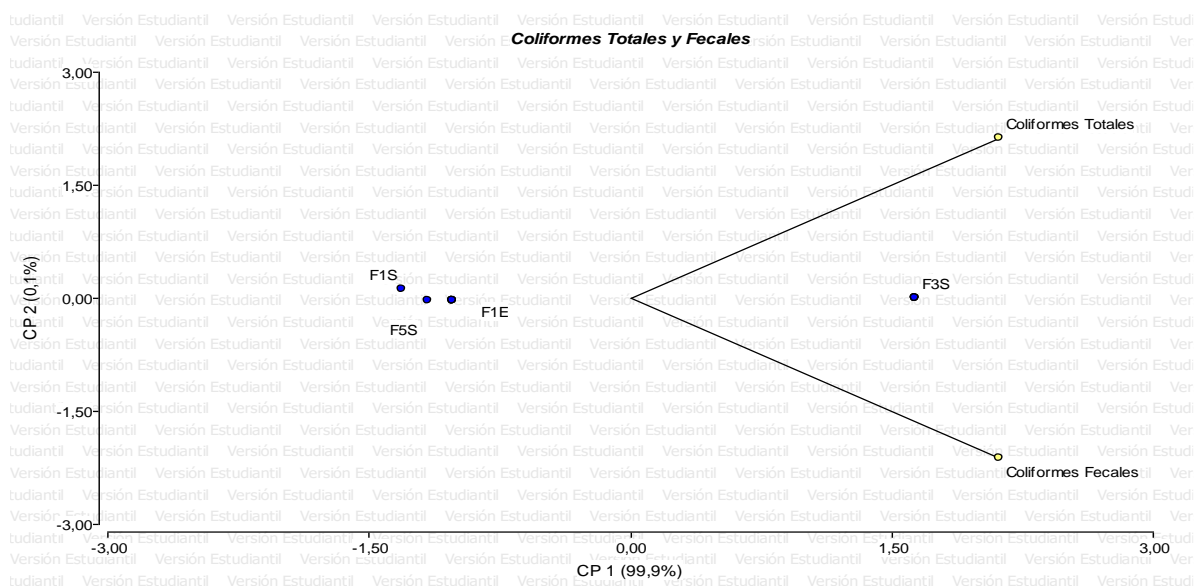


Figura 3. Componentes principales de coliformes totales y fecales

IV. 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. Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor”, para los parámetros Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), 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, de transición y lluviosa, ya que en los resultados obtenidos cambian 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.

V. RECOMENDACIONES

En la entrada de las aguas residuales a la Planta de Tratamiento de la Palma, Chalatenango, considerar el cambio de rejillas, pintarlas con anticorrosivo y limpiar con mayor frecuencia el desarenador para disminuir la concentración de sólidos totales suspendidos.

Construir humedales artificiales para remoción de Coliformes Totales y Fecales.

Realizar análisis físico-químicos y microbiológicos de las aguas residuales de la Planta de Tratamiento cada tres meses, según lo establece la Norma Salvadoreña de Aguas Residuales NSO 13.49.01:09.

La aplicación de cloro en el proceso final de descarga del agua al río La Palma debe de hacerse en mayor dosificación y distribuida durante todo el día en varias aplicaciones para lograr disminuir las concentraciones de coliformes fecales

La trampa de Grasas y Aceites se debe de limpiar por lo menos 4 veces al día para cumplir con la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO.13.49.01:09 "Aguas. Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor".

El agua residual efluente de la Planta de Tratamiento puede ser utilizada únicamente para el riego de viveros de plantas forestales que producen madera y leña.

Realizar lavado con agua a presión en el filtro biológico para facilitar el movimiento de aire a través del filtro y limpieza dos veces diarias de los canales para evitar la acumulación de sedimentos y que el agua circule normalmente.

Elaborar una Carpeta Técnica de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para definir la inversión que hay que realizar para mejorar su funcionamiento y para realizar las gestiones necesarias para obtener financiamiento.

VI. BIBLIOGRAFIAS

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 ene. 2017. Disponible en www.Bnamericas.com/profile/es/wastewater-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). (en línea). Colombia. 10 p. 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). 17 p (en línea). Consultado 31 de oct. 2016. Disponible en <http://www.scielo.sa.cr/pdf/tem/v30n4/0379-3982-tem-30-04-15.pdf>

Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York, Albany (DSENY), 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 (en línea). Colombia. 1 p. 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_Residuales_composicion.pdf
- Fluence, 2017. Sólidos 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 (en línea) España. 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](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 (en línea). Mexico. 1 p. 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 (en línea). España. 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 Domésticas: Desinfección y Formación de Subproductos (en línea). México. 16 p. Consultado 06 de nov. 2018. Disponible en <https://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/23350/1/Tesis%20Gpe%20Reyes%20.pdf>

Ruiz, C.J. 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). Consultado 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. 73 p.