

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR.  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS  
DIRECCION DE INVESTIGACION**

**NOMBRE DE LA INVESTIGACIÓN.**

Fitodepuración de las propiedades físico-químicas y microbiológicas de las aguas residuales con pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) de la planta de Tratamiento de San Luis Talpa, La Paz.

**TÍTULO A OBTENER:** Ingeniero Agrónomo

**AUTORES.**

<b>Nombres y Apellidos</b>	<b>Institución y dirección</b>	<b>Teléfono y E-mail</b>	<b>Firma</b>
Doris Arely Montano Ramos	Colonia Santa Victoria, Calle San Antonio Abad, San Salvador	72698177 <a href="mailto:dm.17.11.2009@hotmail.com">dm.17.11.2009@hotmail.com</a>	
Juan Ricardo Vargas Estrada	Novena av sur, entre 15 y 17 calle oriente, Bo San Miguelito, Santa Ana	64237600 <a href="mailto:ricardoevargas@outlook.com">ricardoevargas@outlook.com</a>	
Ing. M. Sc. Efraín Antonio Rodríguez Urrutia	Departamento de Desarrollo Rural, Facultad de Ciencias Agronómicas, UES	7318-0554 <a href="mailto:earu_1663@yahoo.com.mx">earu_1663@yahoo.com.mx</a>	
Ing. Agr. José Mauricio Tejada Asencio	Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente, Facultad de Ciencias Agronómicas, UES	76332415 <a href="mailto:jmtejadaes@yahoo.es">jmtejadaes@yahoo.es</a>	
Licda. Ada Yanira Arias de Linares	Departamento de Química Agrícola, Facultad de Ciencias Agronómicas, UES	7860-4900 <a href="mailto:yani_linares@hotmail.com">yani_linares@hotmail.com</a>	

**VISTO BUENO:**

<b>Coordinador General de Procesos de Graduación del Departamento:</b>	
Ing. Agr. Rafael Antonio Espino Barahona	Firma:
<b>Director General de Procesos de Graduación de la Facultad:</b>	
Ing. Agr. M.Sc. Elmer Edgardo Corea Guillén	Firma:
<b>Jefe del Departamento:</b>	
Ing. Agr. Edgar Marroquín Mena	Firma:
	Sello:
Lugar y fecha: San Salvador, Agosto de 2018	

## TITULO

**Fitodepuración con pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) de las propiedades físico-químicas y microbiológicas de las aguas residuales de la planta de Tratamiento de San Luis Talpa, La Paz.**

## AUTORES

Montano-Ramos, DA<sup>1</sup>; Vargas-Estrada, JR<sup>1</sup>; Rodríguez-Urrutia, EA<sup>2\*</sup>; Tejada-Asencio, JM<sup>3\*\*</sup>; Arias- de Linares, AY<sup>4\*\*</sup>

## RESUMEN

La investigación se realizó en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del municipio de San Luis Talpa, departamento de La Paz, El Salvador, la cual es operada por la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA), de febrero-agosto del 2017. Se evaluaron cuatro tiempos de retención del agua residual de 1, 2, 3 y 4 días en los humedales cultivados con pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*), con el objetivo de disminuir los niveles de contaminación de los parámetros físico-químicos y microbiológicos, y determinar si cumplen los parámetros establecidos en la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO.13.49.01:09 "Aguas. Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor" (NSO), para que puedan ser descargadas al río Comalapa con menos contaminantes y presenten menos riesgo para la salud de las personas y los organismos acuáticos.

Los parámetros determinados fueron los que rige la Norma: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>), Demanda Química de Oxígeno (DQO), pH, temperatura, Coliformes fecales y Coliformes totales, aceites y grasas, temperatura y pH.

El muestreo de las aguas residuales inició tres meses después de haber establecido el pasto vetiver en los humedales artificiales; se establecieron tres puntos de muestreo, uno en el afluente de los humedales y a la salida de los 2 humedales. Para cada punto se tomaron 6 muestras en frascos de polietileno de 1 litro para los parámetros Demanda Química de Oxígeno, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Nitrógeno total, Fósforo total, coliformes fecales y totales. Para aceites y grasas se utilizaron frascos de vidrio color ámbar de 1 litro.

El muestreo de los 3 puntos se realizó durante seis semanas ininterrumpidas, teniendo un total de 18 puntos muestreados. El mejor tratamiento en la disminución del pH fue el 3 con una media de 7.15, para Nitrógeno total el mejor tratamiento fue el 4 con una media de 1.99, para Fósforo no hubo significancia estadística pero la mejor media se tuvo con el tratamiento 2 con 0.04 de media, para el parámetro DQO y DBO tampoco se registro significancia estadística en algún tratamiento aplicado.

**Palabras claves:** agua residual, planta de tratamiento, tiempos de retención, *Chrysopogon zizanioides*, pasto vetiver.

## Abstract

The investigation was carried out in the Wastewater Treatment Plant of the municipality of San Luis Talpa, department of La Paz, El Salvador, which is operated by the National Administration of Aqueducts and Sewers (ANDA), from February-August 2017. Four water retention times of 1,2,3 and 4 days were evaluated in the wetlands with vetiver grass

---

<sup>1</sup> Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Desarrollo Rural, Estudiante Tesista. 7381-0748 y [dm.17.11.2009@hotmail.com](mailto:dm.17.11.2009@hotmail.com) 64237600 y [ricardoevargas@outlook.com](mailto:ricardoevargas@outlook.com)

<sup>2</sup> 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](mailto:earu_1663@yahoo.com.mx)

<sup>3</sup> Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente. 7633-2415. [jmtejadaes@yahoo.es](mailto:jmtejadaes@yahoo.es)

<sup>4</sup> Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Química Agrícola. 7860-4900.

(*Chrysopogon zizanioides*), with the aim of reducing the contamination levels of physical-chemical and microbiological parameters and determining if they meet the parameters established in the Mandatory Salvadoran Norms NSO.13.49.01: 09 "Waters. Wastewater Discharged to a Receiving Body "(NSO), so that they can be discharged to the Comalapa River with less contaminants and present less risk to the health of people and aquatic organisms.

The determined parameters were those that rule the Norm: Biochemical Oxygen Demand (BOD5), Chemical Oxygen Demand (COD), pH, temperature, fecal coliforms and total coliforms, oils and fats, temperature and pH.

Sampling was started 3 months after the establishments of vetiver grass in the artificial wetlands, 3 sampling points were established, in the tributary of the wetlands and at the exit of the 2 wetlands. For each point, 6 samples of 1 liter were taken in polyethylene bottles for the parameters Chemical Oxygen Demand, Biochemical Oxygen Demand, Total Nitrogen, Total Phosphorus and Fecal and Total Coliforms. For oils and greases amber colored glass jars were used.

The sampling of the 3 points was made during six uninterrupted weeks, having a total of 18 points sampled. The best treatment in decreasing pH was 3 with a mean of 7.15, for total Nitrogen the best treatment was 4 with a mean of 1.99, for Phosphorus there was no statistical significance but the best average was with treatment 2 with 0.04 on average, for the parameter COD and BOD, no statistical significance was registered in any applied treatment.

**Key words:** wastewater, treatment plant, retention times, *Chrysopogon zizanioides*, vetiver grass.

## 1. INTRODUCCION

En El Salvador, la mayor parte del agua residual que se produce es vertida sin previo tratamiento a los cuerpos receptores o con un tratamiento muy deficiente, debido a la ausencia de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales o cuando las hay, estas Plantas presentan un mal funcionamiento (MARN 2015).

La Norma Salvadoreña Obligatoria NSO.13.49.01:09 "Aguas. Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor" (NSO), establece las características y valores permisibles que debe presentar el agua residual para proteger los cuerpos receptores, y distingue entre aguas residuales de tipo ordinario como el agua residual generada por las actividades domésticas de los seres humanos; 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 (CONACYT 2009).

Al implementar los humedales artificiales se busca, que de forma controlada se reproduzcan los procesos de eliminación de contaminantes que tienen lugar en los humedales naturales. El carácter artificial de estos humedales lo define el confinamiento del humedal que se construye mecánicamente, que se impermeabiliza para evitar pérdida de aguas al subsuelo, se utilizan sustratos diferentes al del terreno original para el enraizamiento de las plantas, se eligen plantas que colonizaran el humedal y se da la oportunidad de elegir la especie vegetal a utilizar (CENTA s. f.).

El pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) es una de las plantas más utilizadas en conservación de suelos y agua, y en otros usos como en bioremediación. Es altamente tolerante a Aluminio, Magnesio, Arsénico, Cadmio, Cromo, Níquel, Plomo, Mercurio, Selenio y Zinc en los suelos; posee capacidad para resistir niveles extremos de suministro de Nitrógeno (10,000 kg N/ha/año) y Fósforo (1,000 kg N/ha/año), es muy eficiente en la

absorción de los nutrientes disueltos, en particular Nitrógeno y Fósforo en aguas contaminadas. El vetiver es una planta Xerófila (muy resistente a la sequía debido a su sistema radicular profundo y extenso) e Hidrófila (planta de humedales debido a su bien desarrollada red esclerénquima (Alegre 2007).

Truong y Cruz (2010) realizaron un proyecto sobre el sistema Vetiver, cuyo objeto fue determinar cambios en la reducción del volumen de los efluentes y también en la mejora de la calidad bajo condiciones de campo. Se basaron en monitorear el agua subterránea mediante muestreos a un tanque séptico, este mostró que después de pasar por 5 barreras de vetiver, los niveles totales de Nitrógeno se redujeron en un 99% (de 93 a 0.7 mg/L), el total de Fósforo en un 85% (de 1.3 a 0.2 mg/L) y los Coliformes fecales en un 95% (de 500 a 23 organismos/100 ml). Estos niveles se encuentran muy por debajo de los límites máximos permitidos por la autoridad australiana: Nitrógeno total menor de 10 mg/L, Fósforo total menor de 1 mg/L, *E. coli* menor de 100 organismos/100 ml.

## **2. MATERIALES Y METODOS**

### **2.1. Ubicación de la investigación**

La investigación se realizó en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de ANDA, ubicada en el municipio de San Luis Talpa, departamento de La Paz, en El Salvador, la cual se encuentra a una altura de 50 metros sobre el nivel del mar, la temperatura media del lugar es de 33° C, la humedad relativa promedio oscila entre 65-95%, con un promedio de precipitaciones anuales de 1,500 mm.

### **2.2. Metodología de campo**

#### **2.2.1. Readequación del lugar donde se estableció la investigación**

Al inicio se visitó la Planta de Tratamiento para realizar control de malezas en la zona circundante a los humedales, utilizando el herbicida glifosato para la eliminación del zacate estrella (*Cynodon plectostachiu*). También, se cercó el perímetro del área donde se realizó la investigación para evitar que el ganado bovino entrara en contacto con el pasto vetiver. En esta visita se identificó el agua residual que se utilizaría en la investigación, la cual fue el agua proveniente del decantador secundario de la Planta de Tratamiento, que es dirigida hacia el vertedero final por medio de las gradas de aireación.

#### **2.2.2. Caracterización de las aguas afluentes y efluentes de la Planta de Tratamiento**

Para caracterizar las aguas afluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales se realizaron muestreos en las aguas crudas para determinar los parámetros: Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>), aceites y grasas, pH y temperatura; los parámetros microbiológicos no se efectuaron a las aguas afluentes debido a que el agua cruda por su naturaleza posee cargas muy elevadas de materia orgánica.

Para las aguas efluentes de la Planta de Tratamiento se cuantificó: DQO, DBO<sub>5</sub>, aceites y grasas, pH, temperatura, coliformes fecales y totales. Estas cuantificaciones se realizaron para conocer la eficiencia de depuración de la Planta de Tratamiento antes de iniciar la investigación. Los muestreos fueron realizados por personal de ANDA, y los análisis se efectuaron en el laboratorio de Control de Calidad de ANDA.

#### **2.2.3. Descripción de los humedales**

Los humedales existentes en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales fueron construidos durante la investigación que realizó Burgos Huevo (2015), en la cual diseñó y estableció tres módulos secuenciales entre sí: un módulo de captación de aguas residuales procedentes del decantador secundario, y dos humedales individuales, un primer humedal de flujo sub superficial cultivado con la especie *Phragmites australis*, con dimensiones de 0.85 m de ancho, 2.5 m de largo y 0.71 m de profundidad; el segundo humedal de flujo superficial cultivado con *Typha sp*, posee medidas de 1 m de ancho, 3 m de largo y 0.49 m de profundidad. Los materiales utilizados para la construcción de los humedales fueron: ladrillo rojo de barro cocido tipo “calavera”, arena y cemento; como material impermeabilizante fue utilizada una capa de cemento alisado.

Para efectos de esta investigación con pasto vetiver, ambos humedales se adecuaron para que funcionaran como humedales de flujo sub superficial de tipo horizontal, para lo cual, a cada humedal se le construyó un desnivel del 5% y se modificó el sistema de tuberías para la derivación del agua residual.

#### **2.2.4. Diseño del sistema de tuberías en los humedales.**

El agua residual procedente del segundo decantador de la Planta de Tratamiento se derivó hasta una caja de colecta y de esta se hizo pasar hacia cada humedal por separado, aprovechando la pendiente del terreno, a través de tubos de PVC de 2 pulgadas y dos válvulas de bronce de 2 pulgadas por cada tubo, que tenían la función de regular el paso y los caudales de entrada de agua para cada humedal.

#### **2.2.5. Colecta del pasto Vetiver**

El pasto vetiver se colectó en el municipio de Zacatecoluca, departamento de La Paz, a través de grupos de tallos vegetativos conocidos como “macolla”, de aproximadamente 0.15-0.20 m de diámetro/macolla y con el follaje recortado a una altura de 0.60 m. Una vez recolectado todo el material vegetativo éste se trasladó a la Planta de Tratamiento en San Luis Talpa, para ser sembrado en los humedales.

#### **2.2.6. Establecimiento del pasto vetiver en los humedales artificiales**

El sustrato utilizado fue igual para los dos humedales: una primer capa de aproximadamente 0.40 m de grava No. 1 (de 3-5 cm de diámetro) y sobre ésta una capa de 0.1 m de arena, sobre la cual fueron sembradas las “macollas” de pasto vetiver. A cada “macolla” se le podó el follaje a una altura de 0.30 m y las raíces se recortaron hasta 0.10 m de largo desde la base, luego éstas se sembraron sobre la arena. Con todo el material vegetativo se logró cubrir el 80% de cada humedal, una vez sembradas todo el material en los humedales, se les hizo pasar el agua proveniente del decantador secundario de la Planta de Tratamiento para riego.

Se consideró un periodo de 3 meses para la adaptación del pasto a la naturaleza de los humedales, para lo cual se les hizo pasar el agua proveniente del segundo decantador de la Planta de Tratamiento con un flujo libre sin regular

### **2.3. Estimación de caudales**

Para realizar la investigación se decidió implementar cuatro tiempos de retención de las aguas en los humedales, de 1, 2, 3 y 4 días. Para cada tiempo se calculó un caudal teórico de entrada a los humedales, tomando como partida los tiempos de retención a evaluar y las dimensiones de cada humedal. La fórmula que se utilizó para encontrar el caudal fue:  $L = Q \cdot TR / w \cdot d \cdot \alpha$

Dónde: w = ancho del humedal (m), L = largo del humedal (m), d = profundidad de lámina de agua (m),  $\alpha$  = porosidad (fracción) del sustrato, TR = tiempo de retención, Q = Caudal (CENTA s. f.).

Despejando la fórmula para encontrar Q (caudal), la nueva fórmula quedo de la siguiente forma:  $Q = L \cdot \alpha \cdot w \cdot d / TR$

Los caudales encontrados para cada tiempo de retención en el humedal se muestran en el cuadro 1.

Cuadro 1. Caudales calculados para los dos humedales.

Humedal	Profundidad (m)	Ancho (m)	Largo (m)	Porosidad (fracción)	Tiempo de retención (día)	Caudal (m <sup>3</sup> /día)	Caudal (l/s)
1	0.82	0.5	2.5	0.45	1	0.4613	0.0053
					2	0.2306	0.0027
					3	0.1538	0.0018
					4	0.1153	0.0013
2	1.1	0.3	3	0.45	1	0.4455	0.0052
					2	0.2228	0.0026
					3	0.1485	0.0017
					4	0.1114	0.0013

Los caudales para ambos humedales resultaron similares, por tal razón se eligieron los caudales máximos obtenidos en el humedal uno para implementar en los dos humedales. Se hizo esta elección con el objetivo de facilitar la regulación de los caudales, ya que aforar a volúmenes muy pequeños resultaba muy dificultoso.

#### 2.4. Metodología de muestreo

El muestreo para la caracterización del afluente y efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de San Luis Talpa lo realizó el personal de ANDA, y se hizo un muestreo en cada uno de los meses de febrero, marzo y abril del año 2017. Los parámetros que se determinaron fueron Demanda Química de Oxígeno, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Coliformes Fecales y Totales, pH y temperatura.

En la evaluación del efecto del pasto vetiver en los humedales se establecieron 3 puntos de muestreo, uno en el afluente de los humedales y los otros dos a la salida de los 2 humedales. Para cada punto se tomaron 6 muestras de agua residual, en frascos de polietileno de 1 litro para los parámetros Demanda Química de Oxígeno, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Nitrógeno total, Fósforo total y coliformes fecales y totales. Para aceites y grasas se utilizaron frascos de vidrio color ámbar de un litro. El muestreo de los 3 puntos se realizó durante seis semanas ininterrumpidas, teniendo un total de 18 puntos muestreados.

Antes de cada muestreo los frascos se ambientaron con el agua a tomar, luego se llenaron y posteriormente los frascos se colocaron en hieleras con hielo a una temperatura de 4° C, las muestras para análisis microbiológicos se colocaron en una hielera diferente.

En el muestreo del agua de los efluentes de los humedales, primero se llenó con agua residual la caja de colecta y luego era vertida por gravedad a cada humedal, los muestreos de las aguas residuales se realizaban pasado el tiempo de retención respectivo para cada tratamiento.

Después de recogidas todas las muestras, fueron trasladadas al laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador para el análisis de Nitrógeno Total, Fosforo Total y DBO<sub>5</sub>; la DQO, aceites y grasas fueron llevadas al laboratorio Físicoquímico de Aguas de la Facultad de Química y Farmacia de la Universidad de El Salvador, y los coliformes totales y fecales al laboratorio de Microbiología de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador.

#### **2.4.1. Parámetros analizados**

Los parámetros que se tomaron en cuenta para evaluar el efecto de la fitodepuración son los que establece la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO.13.49.01:09 "Aguas. Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor": Coliformes Fecales, Coliformes Totales, Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>), Nitrógeno total, Fósforo total, Temperatura, pH, Aceites y Grasas. El resultado de laboratorio de cada parámetro se comparó con la Norma.

#### **2.5. Metodología estadística**

Se realizó una prueba de T student para muestras independientes a partir de una inferencia basada en dos muestras, para la realización de la prueba se utilizó el programa estadístico informático INFOSTAT.

Se tuvieron cuatro tratamientos y un testigo: el primer tratamiento consistió en dar un tiempo de retención de 1 día en cada humedal al agua efluente de la Planta de Tratamiento; en el segundo tratamiento el tiempo de retención del agua a tratar fue de 2 días; en el tercer tratamiento el tiempo de retención fue de 3 días; y en el cuarto tratamiento el tiempo de retención fue de 4 días, cada tratamiento con un total de 3 repeticiones, esto quiere decir que a cada tratamiento se muestreo 3 veces; para el testigo el tiempo de retención era cero días, a este se le asignó el tratamiento 5 debido a la practicidad al momento de ingresar la información al software Infostat. Se compararon los resultados de los análisis del agua residual de los testigos (afluente) y de los humedales artificiales (efluentes), para determinar si existió efecto en la disminución en el contenido de cada parámetro analizado.

### **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **3.1. Caracterización de las aguas de la Planta de Tratamiento**

En el cuadro 2 se presentan los resultados de los parámetros físico-químicos: DBO<sub>5</sub>, DQO, pH y temperatura, del afluente (aguas crudas) de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de San Luis Talpa, para los meses de febrero, marzo y abril de 2017 (se realizó un muestreo por cada mes). Los parámetros de aceites y grasas, y los microbiológicos coliformes fecales y totales no se determinaron, ya que no se encuentran dentro de los parámetros que rutinariamente se realizan a las aguas afluentes de la Planta de Tratamiento, debido a que por su procedencia poseen cargas orgánicas contaminantes muy elevadas.

En el cuadro 2 se observa que para los tres muestreos realizados, la DBO<sub>5</sub> (319 mg/L, 984 mg/L y 1,312 mg/L) sobrepasa el límite máximo permisible que establece la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO.13.49.01:09 "Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor". Los resultados de la DQO del trimestre (832, 632 y 528 mg/L) superan el límite

máximo permisible que establece la Norma NSO.13.49.01:09. En el cuadro 2 se observa que en el mes de febrero la DQO es mayor que la DBO<sub>5</sub>, lo que indica la entrada de agua de tipo Especial a la Planta de Tratamiento. El pH y la temperatura están dentro de los rangos que estipula la Norma.

Burgos Huevo (2015) reportó en su investigación el comportamiento de las aguas afluentes de la Planta de Tratamiento de San Luis Talpa, que la totalidad de las mediciones de DQO estaban por encima de la DBO<sub>5</sub>, lo que le indicó la entrada al sistema de aguas residuales de tipo Especial en combinación con aguas residuales Ordinarias. Es de aclarar que la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de San Luis Talpa, fue diseñada y construida para tratar únicamente aguas Ordinarias y no Especiales.

Cuadro 2. Resultados de los análisis físico químicos del agua afluente de la Planta de Tratamiento de San Luis Talpa.

Parámetro	Norma	Unidad	Año 2017		
			Febrero	Marzo	Abril
Demanda Química de Oxígeno	150	mg/L	832	632	528
Demanda Bioquímica de Oxígeno	60	mg/L	319	984	1,312
Coliformes Fecales	2,000	NMP/100 ml	N/D	N/D	N/D
Coliformes Totales	10,000	NMP/100 ml	N/D	N/D	N/D
pH	5.5-9	-	8.71	6.93	7.39
Temperatura	20-35° C	°C	27.5	29	28

En el cuadro 3 se muestran los resultados de los análisis de las aguas residuales efluentes (agua tratada por la Planta) de la Planta de Tratamiento de San Luis Talpa para los parámetros físico-químicos y los resultados de Coliformes Fecales y Totales. El contenido de la DQO (86.4 mg/L, 108.8 mg/L y 64 mg/L) en los tres muestreos realizados resulto por debajo de los límites que establece la Norma.

En febrero la DBO<sub>5</sub> tuvo una baja muy significativa, teniendo un resultado de 11 mg/L. Los resultados de la DBO<sub>5</sub> para marzo y abril están por encima del límite máximo permitido por la Norma (60 mg/L), con valores de 208 y 230 mg/L, respectivamente, lo que indica que la Planta de Tratamiento en sus procesos de tratamiento no pudo disminuir el contenido de DBO<sub>5</sub> del efluente para ambos meses (cuadro 3).

Según APHA (1992), la Demanda Química de Oxígeno (DQO) debe ser mayor que la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>), y los resultados de ésta investigación de los meses de marzo y abril demuestran lo contrario, ya que la DBO<sub>5</sub> es mayor que la DQO, esto se pudo deber a tres problemas: la muestra no es la misma que fue tomada de un determinado punto, paso mucho tiempo la muestra sin ser analizada, el cálculo estuvo mal a la hora de procesar los datos. En este caso se descarta la primera causa debida que las muestras fueron tomadas por los investigadores junto con el personal de ANDA.



Cuadro 3. Resultados de los análisis de aguas residuales del efluente de la Planta de Tratamiento de San Luis Talpa.

Parámetro	Norma	Unidad	Año 2017		
			Febrero	Marzo	Abril
Demanda Química de Oxígeno	150	mg/L	86.4	108.8	64
Demanda Bioquímica de Oxígeno	60	mg/L	11	208	230
Coliformes Fecales	2,000	NMP/100 ml	46,000,000	49,000,000	2,300,000
Coliformes Totales	10,000	NMP/100 ml	46,000,000	79,000,000	2,300,000
Ph	5.5-9	-	7.74	7.11	7.69
Temperatura	20-35° C	°C	24	21	26

Los resultados de Coliformes Fecales y Totales superaron en todo el trimestre el límite máximo permisible que establece la Norma de 2,000 NMP/100 ml y 10,000 NMP/100 ml, respectivamente. Por lo tanto, el agua que la Planta de Tratamiento de San Luis Talpa está vertiendo al cuerpo receptor contiene elevados índices de contaminación. Los resultados de pH y de la temperatura se mantuvieron dentro de los rangos estipulados por la Norma.

### 3.2. Efecto de los tiempos de retención del agua en los humedales artificiales con pasto vetiver, en los parámetros físico-químicos y microbiológicos

#### 3.2.1. Contenidos de aceites y grasas

Según los resultados estadísticos de la prueba T mostrados en el cuadro 4, los tratamientos realizados a las aguas residuales con pasto vetiver, el P-valor es mayor a 0.05, lo que significa que los tiempos de retención estadísticamente no ejercen un efecto significativo en el parámetro Aceites y Grasas. La mejor media de los tratamientos se obtuvo con el tratamiento 2 (2 días de retención) porque fue la más baja, lo que significó una reducción en el contenido de Aceites y Grasas del agua, sin embargo, todos los tratamientos obtuvieron medias dentro del límite máximo permitido por la Norma.

Cuadro 4. Prueba T para muestras independientes para aceites y grasas.

Tratamiento	Media Tratamiento 1	Media Tratamiento 2	P-valor
1-2	3.17	2.97	0.9236
1-3	3.17	2.30	0.9451
1-4	3.17	4.60	0.6120
2-3	2.97	3.30	0.7647
2-4	2.97	4.60	0.4981
3-4	3.30	4.60	0.5787

#### 3.2.2. Contenidos de pH

Según los resultados de la prueba T, los tratamientos 1-5, 2-5 y 3-5 tienen un p-valor menor a 0.05 e indica que estadísticamente ejercen un efecto significativo en la disminución del pH. El mejor tratamiento es el 3 (3 días de retención) con una media de 7.15, todas las medias de los tratamientos a los que se les realizó la prueba de T están dentro del límite que establece la Norma.

Tamayo *et al.* (2010) mencionan que hay un impacto positivo en el pH usando pasto vetiver en un Sistema de Humedal Modular (SHM), ya que al tomar muestras compuestas sobre

períodos de dos horas, el pH se presentó consistentemente en el rango alcalino desde 6.07 a 8.56, con un promedio de 7.64. En seis de las nueve mediciones el pH se redujo en promedio de 0.1 a 0.2 y cuando las lecturas estaban en el lado ácido en la entrada, el pH se incrementaba luego de pasar a través del Sistema del Humedal Modular tanto como 0.5 cercano a neutro.

Cuadro 5. Prueba T para muestras independientes para pH.

Tratamiento	Media Tratamiento 1	Media Tratamiento 2	P valor
1-2	7.26	7.22	0.7616
1-3	7.26	7.15	0.4412
1-5	7.26	7.88	0.0280
2-3	7.22	7.15	0.2950
2-5	7.22	7.88	0.0063
3-5	7.15	7.88	0.0109

### 3.2.3. Contenidos de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)

De los tratamientos aplicados el que mejor efecto tiene es el 5 que es el Testigo o efluente de la Planta de Tratamiento de San Luis Talpa con una media de 9.31. Esto indica que estadísticamente para disminuir el parámetro DBO<sub>5</sub>, ninguno de los tiempos de retención aplicados al agua efluente de la Planta de Tratamiento es mejor que el Testigo.

Cuadro 6. Medias de tratamientos y su P valor de la Prueba de T.

Tratamiento 1	Tratamiento 2	Media Tratamiento 1	Media Tratamiento 2	P valor
1	2	31.35	150.19	0.45
1	4	31.35	303.0	0.0018
1	5	31.35	9.31	0.45
2	4	150.19	303	0.35
2	5	150.19	9.31	0.42
4	5	303	9.31	0.009

Fuente: Elaboración propia (2017).

Según el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) de El Salvador (2016), en su Manual de recomendaciones para la selección de tratamientos de depuración de aguas residuales urbanas, menciona que ante situaciones prolongadas de sobrecarga hidráulica/orgánica, los humedales artificiales son tratamientos poco flexibles, al no contar con parámetros de operación regulables que permitan adaptarse a las nuevas condiciones, lo que puede dar lugar a una calidad del efluente peor a la esperada, por ello, es muy importante para garantizar la fiabilidad del tratamiento, que la instalación esté bien dimensionada, de acuerdo a las características del agua de alimentación y a su posible evolución a corto plazo.

Además, los resultados del efluente de los humedales indican que de 12 repeticiones solo 5 cumplen con la Norma Salvadoreña Obligatoria, y el aumento de la DBO<sub>5</sub> al pasar el agua por los humedales es debido a las condiciones anaeróbicas que pueden generarse dentro del humedal, ya que el flujo de agua por ser un caudal muy pequeño no es continuo y provoca un estancamiento del agua.

### 3.2.4. Contenidos de Demanda Química de Oxígeno

Según los resultados de la prueba T, ninguna de las pruebas posee un P valor menor que 0.05, entonces se rechaza la Hipótesis nula y se acepta la Hipótesis alterna, que para este caso es que: ninguno de los tratamientos ejercen un efecto significativo en la disminución del contenido del parámetro Demanda Química de Oxígeno.

Los resultados del efluente del humedal (cuadro 7) indican que de 12 repeticiones solo 6 se encuentran por debajo de la Norma Salvadoreña Obligatoria ISO NSO.13.49.01:09 "Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor", siendo el mejor tratamiento el de 2 días de retención con valores de 32, 35 y 3 mg/L; en las repeticiones T2R1 y T2R2 se redujo el contenido de la DQO de 64 a 32 mg/L y a 35 mg/L, respectivamente; y en la repetición T2R3 se reportó una disminución de 0.5 mg/L. Todas las repeticiones del tratamiento 2 están por debajo del límite permitido por la Norma que es de 150 mg/L.

Cuadro 1. Demanda Química de Oxígeno de los efluentes de los humedales y de la Planta de Tratamiento.

Tratamiento y Repetición	Norma (mg/L)	Efluente de la Planta de Tratamiento Testigo T0 (mg/L)	Efluente del Humedal con Vetiver (mg/L)
Tiempo de retención 1 día (T1R1)	150	295	271
T1R2	150	5	404
T1R3	150	5	401
Tiempo de retención 2 días (T2R1)	150	64	32
T2R2	150	64	35
T2R3	150	3.5	3.0
Tiempo de retención 3 días (T3R1)	150	295	267
T3R2	150	128.5	43.5
T3R3	150	128.5	78.5
Tiempo de retención 4 días (T4R1)	150	3553.5	178.5
T4R2	150	3553.5	208.5
T4R3	150	3.5	3.1

### 3.2.5. Resultados de Fósforo total

El cuadro 8 muestra los resultados de la prueba T aplicada a los valores del parámetro Nitrógeno Total, según estos datos ninguna de las pruebas de T tiene un P valor menor que 0.05, lo que indica que no importa el tratamiento que se le aplique al agua residual, ninguno ejerce un efecto sobre la disminución del contenido del parámetro Fósforo Total.

Cuadro 8. Medias de tratamientos y su P valor de la Prueba T para Fósforo Total.

Tratamiento 1	Tratamiento 2	Media Tratamiento 1	Media Tratamiento 2	P valor
2	3	0,04	0,05	0,2859
2	4	0.04	0.05	0,7546
2	5	0.04	0.04	0,9497
3	4	0.05	0.05	0,6779
3	5	0.05	0.04	0,5827
4	5	0.05	0.04	<u>0,8530</u>

Fuente: Elaboración propia (2017).

Todos los resultados de los análisis de las repeticiones de los tratamientos cumplen con el nivel máximo (cuadro 8) permitido por la Norma, de igual manera el Testigo o efluente de la Planta de Tratamiento. Los niveles de Fósforo son muy leves, lo cual puede estar dado a que el agua que es recibida como afluente en la Planta sea solo de tipo doméstica y que los nutrientes de Fosforo son eliminados por los procesos de depuración de la Planta de Tratamiento.

### 3.2.6. Contenidos de Nitrógeno Total

En el cuadro 9 se puede observar que al comparar los tratamientos 3 y 5 se tiene un P valor de 0.0330 y es menor que 0.05, entonces, para este caso se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna que dice: los tiempos de retención si ejercen un efecto significativo en el parámetro Nitrógeno Total. Estadísticamente el mejor de los tratamientos es el 3 con una media menor de 4.72 contra la del tratamiento 5 que es de 20.11.

Cuadro 9. Prueba de T para Nitrógeno Total.

Tratamiento 1	Tratamiento 2	Media tratamiento 1	Media tratamiento 2	P valor
1	3	28,93	4,72	0,3763
1	4	28,93	1.99	0,3325
1	5	28,93	20.11	0.7224
3	4	4,72	1.99	0.4559
3	5	4.72	20.11	0.0330
4	5	1.99	20.11	0.0048

Fuente: Elaboración propia (2017).

En la comparación de los tratamientos 4 y 5 se obtuvo un P valor menor a 0.05 que fue 0.0048, debido a esto se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna que dice que los tiempos de retención si ejercen un efecto significativo en el parámetro Nitrógeno Total. Estadísticamente el mejor de los tratamientos es el 4 con una media de 1.99 contra la media del tratamiento 5 que fue de 20.11.

## 4. Conclusiones

Las aguas residuales efluentes de la Planta de Tratamiento de San Luis Talpa tienen una Demanda Química de Oxígeno (DQO) que cumple con la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO.13.49.01:09 "Aguas. Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor".

Estadísticamente ningún tiempo de retención en los humedales con pasto vetiver disminuye el contenido de aceites y grasas de las aguas residuales, ya que ningún P- valor fue menor a 0.05, pero todas las medias están dentro del rango permitido por la Norma, la mejor media se obtuvo con el tratamiento 2 (dos días de retención) de 2.97.

Para el pH, según la prueba T los tratamientos emparejados 1-5, 2-5 y 3-5 presentaron un P-valor menor a 0.05 e indica que estadísticamente ejercen un efecto significativo en la disminución del pH. El mejor tratamiento es el 3 (3 días de retención) con una media de 7.15, todas las medias de los tratamientos están dentro de los límites permisibles por la Norma.

Estadísticamente ningún tiempo de retención en los humedales artificiales cultivados con pasto vetiver produce disminución en el contenido del Fosforo Total de las aguas residuales de la Planta de Tratamiento de San Luis Talpa.

Para el Nitrógeno Total se concluye que los tratamientos 4 y 5 al emparejarse en la prueba de T ejercieron un efecto significativo con un P valor menor a 0.05 que fue 0.0048,

estadísticamente el mejor de los tratamientos es el 4, con una media de 1.99 contra la media del tratamiento 5 que fue de 20.11.

El mejor tratamiento en la disminución de los Aceites y Grasas, pH y Temperatura es el tratamiento 1 con un tiempo de retención de un día.

El mejor tratamiento en la disminución de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) es el Tratamiento 3 con un tiempo de retención de 3 días.

El mejor tratamiento en la disminución de la Demanda Química de Oxígeno y del Nitrógeno Total es el Tratamiento 4 con un tiempo de retención de 4 días.

El mejor tratamiento en la disminución del Fosforo Total es el Tratamiento 2 con un tiempo de retención de 2 días.

## **5. Recomendaciones**

Realizar investigaciones para evaluar otros tiempos de retención de aguas residuales en humedales de flujo sub superficial cultivados con pasto vetiver.

En futuras investigaciones construir humedales artificiales de mayores dimensiones que posibiliten evaluar caudales de agua mayores.

Para evaluar el contenido de Fósforo y Nitrógeno en las plantas que se utilizan en los humedales artificiales para depurar aguas residuales, se deben realizar análisis químicos del tejido verde y seco de la plantas.

En futuras investigaciones los laboratorios donde se realicen los análisis microbiológicos del agua residual deben aplicar métodos de cuantificación de coliformes totales y fecales que permitan determinar cantidades elevadas de estos organismos, para ser comparados con la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO.13.49.01:09 "Aguas. Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor".

Las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales deben de incluir como parte de su proceso de depuración el uso de humedales artificiales antes de ser descargadas en los cuerpos receptores.

En El Salvador urge que se apruebe lo más pronto posible una Ley General del Agua, para regular todo lo relacionado con el recurso hídrico, incluyendo el tratamiento de las aguas residuales.

## **6. Bibliografías**

Alegre Orihuela, J. 2007. Manual sobre el uso y manejo del pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) (en línea). Lima, Perú. Consultado 02 de jun. 2016. Disponible en [http://www.vetiver.org/TVN\\_manualvetiver\\_spanish-o.pdf](http://www.vetiver.org/TVN_manualvetiver_spanish-o.pdf)

APHA (American Public Health Association, EU), AWWA (American Water Works Association, EU), WPCF (Water Pollution Control Federation, EU). 1992. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. Madrid, España. 1,714 p.

- Burgos Huevo, HE. 2015. Uso de humedales artificiales como tratamiento terciario para la depuración de aguas residuales ordinarias en la Planta de Tratamiento del municipio de San Luis Talpa, departamento de La Paz, El Salvador. Tesis Maestría. El Salvador. UES. 238 p.
- CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, El Salvador). 2009. Agua. Agua potable. NSO 13.07.01:08 (en línea). El Salvador. Consultado 03 abril. 2016. Disponible en [http://agua.marn.gob.sv/Documentos/leyes/Norma\\_Agua\\_Potable\\_2009.pdf](http://agua.marn.gob.sv/Documentos/leyes/Norma_Agua_Potable_2009.pdf)
- CENTA (Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua, España). s. f. Manual de tecnologías no convencionales para la depuración de aguas residuales. Andalucía, España. 114 p (en línea). Consultado 24 de agosto. Disponible en: <http://www.centa.es/portfolio-items/manual-tecnologias-no-convencionales-ladepuracion-aguas-residuales/>
- MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, El Salvador). 2015. Ríos Contaminados de El Salvador (en línea), El Salvador. Consultado 25 febrero. 2016. Disponible en <http://www.elsalvadormipais.com/rios-contaminados-de-el-salvador>
- MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, El Salvador). 2016. Recomendaciones para la selección de tratamientos de depuración de aguas residuales urbanas en la República de El Salvador. El Salvador. 110 p.
- Tamayo, GY; Luque, O; Rodríguez, O; Silva, O; Arcaná, E. 2010. Boletín Vetiver (en línea). Venezuela. Consultado 25 de octubre. 2017. Disponible en [http://www.vetiver.org/LAVN\\_BOLETIN%20VETIVER%2015.pdf](http://www.vetiver.org/LAVN_BOLETIN%20VETIVER%2015.pdf)
- Truong, PN; Cruz, Y. 2010. Sistema vetiver: una solución natural y de bajo costo para la prevención y tratamiento de aguas contaminadas. In X Congreso Recursos Hídricos y Saneamiento Ambiental, X COREHISA. San José, Costa Rica. Asociación Costarricense de Recursos Hídricos y Saneamiento Ambiental (en línea). Consultado 20 agosto. 2016. Disponible en [http://www.vetiver.org/COR-s\\_Art.%20Completo\\_SV\\_II.Agua.df](http://www.vetiver.org/COR-s_Art.%20Completo_SV_II.Agua.df)