

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS



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.

Por:

Br. Doris Arely Montano Ramos

Br. Juan Ricardo Vargas Estrada

Ciudad Universitaria, septiembre 2018

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE DESARROLLO RURAL**



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.

Por:

Br. Doris Arely Montano Ramos
Br. Juan Ricardo Vargas Estrada

Requisito para optar al título de:

Ingeniero (a) Agrónomo

Ciudad Universitaria, septiembre 2018

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

LIC. M. Sc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIO GENERAL:

LIC. CRISTÓBAL HERNÁN RÍOS BENÍTEZ

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

DECANO:

Ing. Agr. M. Sc. JUAN ROSA QUINTANILLA QUINTANILLA

SECRETARIO:

Ing. Agr. M. Sc. LUIS FERNANDO CASTANEDA ROMERO

JEFE DEL DEPARTAMENTO DE DESARROLLO RURAL:

Ing. y Lic. Edgar Marroquín Mena

DOCENTES DIRECTORES

Ing. M. Sc. Efraín Antonio Rodríguez Urrutia

Ing. M. Sc. José Mauricio Tejada Asencio

Lic. M. Sc. Ada Yanira Arias de Linares

COORDINADOR GENERAL DE PROCESOS DE GRADUACIÓN

Ing. Agr. Rafael Antonio Espino Barahona

Resumen

La investigación se realizó en las instalaciones de 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), iniciado el 27 de febrero de 2017 y culminando el 30 de agosto de 2017.

Se evaluaron cuatro tiempos de retención de agua en los humedales de tipo sub-superficial de flujo horizontal cultivados con pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*), con el objetivo de disminuir los niveles de contaminación de 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.

Para esto fue necesario hacer una caracterización de las aguas crudas afluente de la Planta de Tratamiento y de las aguas resultantes (efluente), los resultados del efluente en promedio fueron Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) 150 mg/L, Demanda Química de Oxígeno (DQO) 86.4 mg/L, pH 7.51, temperatura 23.66° C, Coliformes fecales 32,433,333.3 NMP/100 ml y Coliformes totales 42,433,333.3 NMP/100 ml. Los resultados demuestran que el parámetro de la DQO con 86.4 mg/L cumple con la Norma.

Los tratamientos de la investigación con los tiempos de retención de uno, dos, tres y cuatro días, son efectivos en la disminución de los valores de los parámetros de pH, temperatura y fosforo total, ya que los resultados obtenidos cumplen con la Norma. Para la Demanda Bioquímica de Oxígeno el mejor tratamiento es el tiempo de retención de tres días, para la Demanda Química de Oxígeno el tratamiento que mejores resultados se obtuvieron es el tiempo de retención de dos días, y en el parámetro de nitrógeno total los únicos tratamientos que resultaron mejores son el de tiempo de retención de dos, tres y cuatro días.

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

Abstract

The investigation was carried out in the facilities of 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), initiated on February 27 2017 and ending on August 30, 2017.

Four times of water retention were evaluated in sub-superficial flow-type wetlands cultivated with vetiver grass (*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.

For this it was necessary to make a characterization of the raw water tributary of the Treatment Plant and the resulting waters (effluent), the effluent results on average were Biochemical Oxygen Demand (BOD₅) 150 mg / L, Chemical Oxygen Demand (COD) 86.4 mg / L, pH 7.51, temperature 23.66 ° C, Fecal coliforms 32, 433,333.3 NMP / 100 ml and Total coliforms 42,433,333.3 NMP / 100 ml. The results show that the COD parameter with 86.4 mg / L complies with the Standard.

The treatments of the investigation with the retention times of one, two, three and four days, are effective in decreasing the values of pH, temperature and total phosphorus parameters, since the results obtained comply with the Standard. For the Biochemical Oxygen Demand the best treatment is the retention time of three days, for the Chemical Demand of Oxygen the treatment that better results were obtained is the retention time of two days, and in the total nitrogen parameter the only treatments which were better are the retention time of two, three and four days.

Keywords: residual water, treatment plant, retention times, *Chrysopogon zizanioides*, vetiver grass, coliforms, El Salvador, ANDA.

Agradecimientos

A Dios, por darme sabiduría, entendimiento y fortaleza para poder culminar este trabajo de investigación.

A mi madre Blanca Elena Ramos y a mi padre Carlos Alberto Montano por apoyarme en todo momento de mi vida y darme las fortalezas de seguir superándome para llegar a ser una persona de bien.

A mi tía María Teresa Montano (Q.D.D.G), por sus consejos, regaños y preocupaciones, que me sirvieron de mucho para mejorar en vida y poner en práctica lo dicho.

Al Ing. M. Sc. Efraín Antonio Rodríguez Urrutia, por su apoyo como Asesor de tesis y en las gestiones necesarias para la realización de la investigación.

A mis amigos y compañeros cercanos que siempre estuvieron brindando ese apoyo incondicional y sus consejos para seguir adelante durante toda la carrera profesional.

A mi amiga Claudia González Funes y a su madre Ana Gonzáles por brindarme su casa y sus consejos durante la realización de la investigación.

Al Banco de Desarrollo de El Salvador (BANDESAL), principalmente al Ing. Raúl Rivera por el apoyo y el financiamiento para la realización de la investigación.

A la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA), por prestar el área donde se realizó la investigación.

Doris Arely Montano Ramos

Agradecimientos

A mi padre Roberto Vargas, mi madre Alicia Estrada, mi hermana Alejandra y mi hermano Enrique por ser apoyo fundamental en todos los ámbitos de mi vida.

A todo aquel que cooperó con la culminación de mi carrera universitaria a mis amigos y compañeros que fielmente nos echamos el hombro a lo largo del camino universitario.

A nuestra asesora de tesis Ada Yanira Arias de Linares, y a los asesores Efraín Rodríguez Urrutia y Mauricio Tejada, por colaborar en el camino de la realización de nuestra tesis, con mención especial a Efraín Rodríguez Urrutia por habernos tutorado en la gestación de esta investigación.

A Daniel Palacios, que sin ninguna cuestión nos asesoró en la parte estadística

Al Banco de Desarrollo de El Salvador (BANDESAL), principalmente al Ing. Raúl Rivera por la facilitación de fondos necesarios para llevar a cabo la investigación

Al personal de ANDA, operarios y técnicos, por haber brindado acompañamiento en campo.

A Don Carlos Montano, que devotamente nos trasladó en cada muestreo hacia San Luis Talpa.

Juan Ricardo Vargas Estrada

Índice de contenido

	Página
Resumen	iv
Abstract	v
Agradecimientos	vi
Índice de contenido.....	viii
Índice de Cuadros.....	xi
Índice de Figuras	xiii
Índice de Anexos	xiv
1. Introducción	1
2. Revisión de bibliografía.....	2
2.1 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)	2
2.2 Desarrollo local	3
2.3 Manejo de cuencas	4
2.4 Recursos naturales	4
2.5 Agua	5
2.6 Calidad del agua.....	5
2.6.1 Calidad microbiológica del agua	6
2.6.2 Calidad química del agua.....	6
2.7 Contaminación del agua.....	7
2.8 Normativa y legislación sobre el agua en El Salvador	7
2.8.1 Norma Salvadoreña Obligatoria NSO.13.49.01:09 “Aguas. Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor” (NSO)	7
2.9 Parámetros para determinar la calidad del agua.....	8
2.9.1 Parámetros físicos.....	9

2.9.2	Parámetros químicos	10
2.9.3	Parámetros microbiológicos.....	13
2.10	Humedales artificiales.....	13
2.10.1	Tipos de humedales artificiales	14
2.11	Pasto vetiver (Chrysopogon zizanioides)	14
2.11.1	Características del pasto vetiver que lo hacen idóneo para tratar aguas residuales.....	15
2.12	Descripción de la Planta de tratamiento de Aguas Residuales de ANDA.....	16
3.	Materiales y Métodos.....	21
3.1	Ubicación de la investigación	21
3.1.1	Readecuación del lugar donde se estableció la investigación	21
3.2	Caracterización de las aguas afluentes y efluentes de la Planta de Tratamiento	22
3.3	Descripción de los humedales.....	23
3.4	Colecta del pasto Vetiver	25
3.4.1	Establecimiento del pasto vetiver en los humedales artificiales	26
3.4.2	Adaptación del pasto vetiver a las condiciones ambientales	27
3.5	Estimación de caudales.....	27
3.6	Metodología de muestreo.....	29
3.7	Parámetros analizados	31
3.8	Metodología estadística.....	32
4.	Resultados y Discusión.....	33
4.1	Caracterización de las aguas de la Planta de Tratamiento	33
4.2	Efecto de los tiempos de retención del agua en los humedales artificiales con pasto vetiver, en los parámetros físico-químicos y microbiológicos	38
4.3	Resultados de aceites y grasas	38
4.4	Resultados de pH.....	40

4.5	Resultados de temperaturas.....	41
4.6	Resultados de Coliformes Fecales y Totales.....	43
4.7	Resultados de Demanda Bioquímica de Oxígeno.....	45
4.8	Resultados de la Demanda Química de Oxígeno	47
4.9	Resultados de Fósforo total	49
4.10	Resultados de Nitrógeno Total.....	51
5.	Análisis Estadístico	52
5.1	Prueba T para Aceites y grasas.....	53
5.2	Prueba T para pH.....	54
5.3	Prueba T para Temperatura	56
5.4	Prueba T para Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅).....	57
5.5	Prueba T para Demanda Bioquímica de Oxígeno (DQO).....	59
5.6	Prueba T para Nitrógeno Total.....	61
5.7	Prueba T para Fósforo Total.....	63
6.	Crecimiento del pasto durante la investigación	64
7.	Conclusiones	66
8.	Recomendaciones	68
9.	Bibliografía.....	69
10.	Anexos.....	76

Índice de Cuadros

	Página
Cuadro 1. Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).....	2
Cuadro 2. Objetivos de Desarrollo Sostenible relacionados con el agua.....	3
Cuadro 3. Parámetros para aguas residuales urbanas en la Norma Salvadoreña de Aguas Residuales Descargadas a un cuerpo receptor.....	8
Cuadro 4. Parámetros físico-químicos determinantes de la calidad del agua.	9
Cuadro 5. Caudales calculados para los dos humedales.....	28
Cuadro 6. Parámetros analizados en la investigación.....	31
Cuadro 7. Tratamientos y repeticiones.....	32
Cuadro 8. Resultados de análisis físico químicos del agua afluente de la Planta de Tratamiento de San Luis Talpa en febrero, marzo y abril (anexos 1-6).	34
Cuadro 9. Resultados de análisis de aguas residuales del efluente de la Planta de Tratamiento de San Luis Talpa de febrero, marzo y abril (anexos 7-12).	36
Cuadro 10. Relación DBO ₅ /DQO.	38
Cuadro 11. Resultados de aceites y grasas del efluente de los humedales y de la PTAR según análisis de laboratorio.	39
Cuadro 12. Resultados de pH del efluente de los humedales y de la Planta de tratamiento según análisis de laboratorio.	40
Cuadro 13. Resultados de temperaturas del efluente de los humedales y de la PTAR según análisis de laboratorio.	42
Cuadro 14. Resultados de coliformes fecales del efluente de los humedales y de la PTAR según análisis de laboratorio.	43
Cuadro 15. Resultados de coliformes totales del efluente de los humedales y de la PTAR según análisis de laboratorio.	44
Cuadro 16. Demanda Bioquímica de Oxígeno de los efluentes de los humedales y de la Planta de tratamiento.....	47
Cuadro 17. Demanda Química de Oxígeno de los efluentes de los humedales y de la Planta de Tratamiento.....	48
Cuadro 18. Porcentajes de Remoción promedio de DQO.....	49
Cuadro 19. Cuantificación de Fósforo total de los efluentes de los humedales y de la Planta de Tratamiento.....	50
Cuadro 20. Cuantificación de Nitrógeno total de los efluentes de los humedales y de la Planta de Tratamiento.....	52
Cuadro 21. Porcentajes de remoción promedio de Nitratos.	52
Cuadro 22. Prueba de Shapiro-Wilks para datos aceites y grasas.....	53
Cuadro 23. Prueba T para muestras independientes para aceites y grasas.	54
Cuadro 24. Prueba de Shapiro-Wilks.....	55
Cuadro 25. Prueba de kolgomorov-smirnov para los tratamientos 4 y 5.	55
Cuadro 26. Prueba T para muestras independientes para pH.	56
Cuadro 27. Prueba de Shapiro-Wilks.....	56
Cuadro 28. Prueba de Kolgomorov Smirnov.....	56
Cuadro 29. Prueba T para muestras independientes para temperatura.	57

Cuadro 30. Prueba de Shapiro-wilks a cada tratamiento.	58
Cuadro 31. Prueba de Kolmogorov-Smirnov para el tratamiento 3 contra los demás tratamientos.....	58
Cuadro 32. Medias de tratamientos y su p valor de la Prueba de T.	59
Cuadro 33. Prueba de Shapiro-wilks a cada tratamiento para DQO.	59
Cuadro 34. Prueba de Kolmogorov-Smirnov para tratamientos 1 y 4 contra los demás tratamientos (DQO).....	60
Cuadro 35. Medias de tratamientos y su p valor de la Prueba de T (DQO).....	60
Cuadro 36. Prueba Shapiro-wilks a cada tratamiento (Nitrógeno Total).	61
Cuadro 37. Prueba de Kolmogorov-Smirnov para el tratamiento 2 contra los demás tratamientos para Nitrógeno Total.....	62
Cuadro 38. Medias de tratamientos y su p valor de la Prueba T Nitrógeno Total.	62
Cuadro 39. Prueba de Shapiro-wilks a cada tratamiento Fósforo Total.....	63
Cuadro 40. Prueba de Kolmogorov-Smirnov para tratamientos 1 contra los demás tratamientos para Fósforo Total.	64
Cuadro 41. Medias de tratamientos y su p valor de la Prueba T para Fósforo Total.	64
Cuadro 42. Secuencia de altura del pasto vetiver.	65

Índice de Figuras

Figura 1. Filtro biológico de la PTAR de San Luis Talpa.	15
Figura 2. Esquema de la Planta de Tratamiento de San Luis Talpa y sus componentes. 16	16
Figura 3. Rejilla, desarenador y canaleta Parshall de la PTAR de San Luis Talpa.....	17
Figura 4. Decantador primario en la PTAR de San Luis Talpa.	18
Figura 5. Filtro biológico de la PTAR de San Luis Talpa.	18
Figura 6. Decantador secundario de la PTAR de San Luis Talpa.....	19
Figura 7. Gradas de aireación de la PTAR de San Luis Talpa.	19
Figura 8. Digestor de lodos de la PTAR de San Luis Talpa.....	20
Figura 9. Patios de secado de la PTAR de San Luis Talpa.	20
Figura 10. Mapa de ubicación de la PTAR de ANDA en San Luis Talpa, La Paz.....	21
Figura 11. Decantador secundario y gradas de aireación.	22
Figura 12. Muestreo realizado por personal de ANDA en efluentes de la Planta de Tratamiento.	23
Figura 13. Instalación de tubería en los humedales.	24
Figura 14. Instalación de tuberías para el sistema de flujo sub superficial y válvula para regular caudal de entrada.	24
Figura 15. Esquema de instalación de tuberías en los humedales.....	25
Figura 16. Colecta del pasto vetiver en Zacatecoluca por medio de un productor local. ..	26
Figura 17. Medicion y corte del follaje del pasto vetiver.	26
Figura 18. Siembra del pasto vetiver en los humedales.	27
Figura 19. Pasto vetiver en adaptación.....	27
Figura 20. Puntos de muestreo de la investigación.....	29
Figura 21. Muestreo del agua residual en las gradas de aireación.....	30
Figura 22. Muestras de aguas acondicionadas en hieleras.....	31
Figura 23. Comportamiento de aceites y grasas en los tratamientos aplicados.	39
Figura 24. Comportamiento del pH en los diferentes tratamientos aplicados.	41
Figura 25. Temperaturas en los diferentes tratamientos aplicados.	42
Figura 26. Poda y medicion del pasto vetiver.....	65

Índice de Anexos

Anexo 1. Resultados de los análisis de afluentes de la Planta de Tratamiento para el mes de febrero.	76
Anexo 2. Resultados de análisis de Demanda Bioquímica de Oxígeno del afluente de la Planta de Tratamiento de San Luis Talpa para el mes de febrero.....	77
Anexo 3. Resultados de análisis del afluente de la Planta de Tratamiento de San Luis Talpa para el mes de marzo.	78
Anexo 4. Resultados de Demanda Bioquímica de Oxígeno del afluente de la Planta de San Luis Talpa para el mes de marzo.....	79
Anexo 5. Resultados de análisis del afluente de la Planta de Tratamiento de San Luis Talpa para el mes de Abril.	80
Anexo 6. Resultados de Demanda Bioquímica de Oxígeno del afluente de la Planta de Tratamiento de San Luis Talpa para el mes de Abril.....	81
Anexo 7. Resultados de análisis del efluente de la Planta de Tratamiento para el mes de febrero.	82
Anexo 8. Resultados de Demanda Bioquímica de Oxígeno del efluente de la Planta de Tratamiento para el mes de febrero.	83
Anexo 9. Resultados de los análisis del efluente de la Planta de Tratamiento para el mes de marzo.....	84
Anexo 10. Resultados de Demanda Bioquímica de Oxígeno del efluente de la Planta de Tratamiento para el mes de marzo	85
Anexo 11. Resultados de los análisis del efluente de la Planta de Tratamiento para el mes de abril.....	86
Anexo 12. Resultados de Demanda Bioquímica de Oxígeno del efluente de la Planta de Tratamiento para el mes de abril.....	87

1. Introducción

En El Salvador el recurso hídrico se ha agotado de forma considerable, debido a dos factores importantes que causan esta problemática, el primero es la reducción de territorios con capacidad para la captación y retención de agua, y el segundo es la contaminación de los cuerpos de agua superficiales y subterráneos. Este último factor merece atención especial ya que década a década las poblaciones crecen y los complejos habitacionales aumentan de manera proporcional al número de habitantes.

En nuestro país 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. La carencia de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales con eficiencia en sus procesos de depuración, es una de las principales causas para que la contaminación del agua siga su curso lineal permanente y ascendente.

El objetivo general de esta investigación es evaluar el efecto de la fitodepuración con humedales artificiales con pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) en las propiedades físico-químicas y microbiológicas de las aguas residuales de la Planta de Tratamiento de San Luis Talpa, en el departamento de La Paz, y comparar los resultados obtenidos después de aplicar los tratamientos con los parámetros establecidos en la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO.13.49.01:09 “Aguas. Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor”.

2. Revisión de bibliografía

2.1 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

En la Cumbre para el Desarrollo Sostenible, que se llevó a cabo en septiembre de 2015, todos los Estados miembros de las Naciones Unidas (ONU) aprobaron la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, que incluyen un grupo de 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible, los cuales buscan reducir la pobreza, erradicación de desigualdades e injusticias, y hacer frente al cambio climático. Los ODS también conocidos como Objetivos Mundiales, se basan en los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), ocho objetivos contra la pobreza que el mundo se comprometió a alcanzar en el 2015. Se han hecho enormes progresos en los ODM, lo que muestra el valor de una agenda unificadora apoyada por metas y objetivos (NU 2015).

Cuadro 1. Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

ODS	ODS
1. Fin de la pobreza.	10. Reducción de las desigualdades.
2. Hambre cero.	11. Ciudades y comunidades sostenibles.
3. Salud y bienestar.	12. Producción y consumo responsables.
4. Educación de calidad.	13. Acción por el clima.
5. Igualdad de género.	14. Vida marina.
6. Agua limpia y saneamiento.	15. Vida de ecosistemas terrestres.
7. Energía asequible y no contaminante.	16. Paz, justicia e instituciones sólidas.
8. Trabajo decente y crecimiento económico.	17. Alianzas para lograr los objetivos
9. Industria, innovación e infraestructura.	

Fuente: FAO (2015).

Una creciente población mundial, con la urbanización que se acelera y una base de recursos naturales que se deteriora, significa más personas que alimentar con menos agua, tierras de cultivo y mano de obra rural. Cubrir los aumentos previstos en las necesidades de agua, energía y alimentos, requiere cambiar a enfoques de consumo y producción más sostenibles, con sistemas agrícolas y alimentarios más eficientes y sostenibles (FAO 2015).

Son cuatro los ODS que se relacionan con la temática del recurso hídrico desde la perspectiva de un uso responsable, descentralización del acceso al vital líquido, aprovechamiento adecuado y el tratamiento-saneamiento eficiente. A continuación se argumenta cada uno de estos cuatro ODS relacionados al agua:

Cuadro 2. Objetivos de Desarrollo Sostenible relacionados con el agua.

ODS	Metas
ODS 2: Hambre cero	Este objetivo tiene la finalidad de buscar terminar con todas las formas de hambre y desnutrición de aquí a 2030 y velar por el acceso de todas las personas, en especial los niños y niñas, y los más vulnerables, a una alimentación suficiente y nutritiva durante todo el año.
ODS 3: Salud y bienestar	El objetivo es lograr una cobertura universal de salud y facilitar medicamentos y vacunas seguras y eficaces para todos. Una parte esencial de este proceso es apoyar la investigación y el desarrollo de vacunas, además de proporcionar acceso a medicamentos asequibles
ODS 6: Agua limpia y saneamiento	Garantizar la disponibilidad de agua, su gestión sostenible y el saneamiento para todos. Al menos 1,800 millones de personas en el mundo utilizan una fuente de agua potable que está contaminada con materia fecal. Este es el caso de El Salvador, en un informe de calidad de agua presentado por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), dice que solo el 2% de los ríos salvadoreños tienen agua apta para el consumo humano y entre los afluentes más contaminados con coliformes fecales está el río Lempa, cuyo caudal recorre 360 kilómetros del país (MARN 2015).
ODS 14: Vida marina	Genera un marco para ordenar y proteger de manera sostenible los ecosistemas marinos y costeros de la contaminación terrestre, así como para abordar los impactos de la acidificación de los océanos

Fuente: NU (2015).

2.2 Desarrollo local

El desarrollo local se refiere a aquel proceso creciente, sostenido y equitativo de creación de condiciones para los hombres y mujeres residentes de un determinado territorio, de acceder a salud, educación, agua potable, trabajo productivo, información, ambiente sano y un marco jurídico e institucional para hacer valer sus derechos civiles, sin hipotecar o menoscabar con ello las oportunidades de las futuras generaciones. Los procesos de desarrollo local deben surgir desde las potencialidades de las comunidades locales para satisfacer sus propias necesidades humanas, a partir del conocimiento de las oportunidades y desafíos existentes para el aprovechamiento sostenible de su entorno. Los procesos de desarrollo local deben

de adoptar tres grandes ejes conceptuales y metodológicos, siendo estos la participación, la educación y la producción (Bonilla 2015).

2.3 Manejo de cuencas

La cuenca hidrográfica es el espacio de territorio delimitado por la línea divisoria de las aguas, conformado por un sistema hídrico que conduce sus aguas a un río principal, a un lago o al mar. Es un ámbito tridimensional que integra las interacciones entre la cobertura sobre el terreno, las profundidades del suelo y el entorno de la línea divisoria de las aguas. En la cuenca hidrográfica se ubican los recursos naturales suelo, agua, vegetación, allí habitan las personas y en ella realizan todas sus actividades económicas y sociales, generando diferentes efectos favorables y no favorables para el bienestar humano (Faustino y Jiménez 2000).

En una cuenca hidrográfica se desencadenan una serie de procesos de degradación que conllevan a la pérdida de valor en el tiempo, incluyendo el potencial productivo de la tierra y las aguas, la cual procede de las características fisiográficas, el clima y el uso inadecuado de las tierras (destrucción indiscriminada de bosques, cultivos inadecuados, alteración de suelos, utilización sin control del agua), lo que ocasiona a su vez una degradación ecológica acelerada, menores oportunidades económicas y mayores problemas sociales (Sheng 1992 citado por Bonilla 2015).

2.4 Recursos naturales

Son los elementos naturales que se obtienen directamente de la naturaleza: agua, aire, flora, fauna, suelo, que las personas pueden aprovechar para satisfacer sus necesidades económicas, sociales y culturales. En El Salvador, los recursos naturales que son más explotados son básicamente agrícolas, forestales e hidrológicos. Hay dos clases de recursos naturales:

- Renovables. Son los recursos naturales que no se terminan, porque usados racionalmente se regeneran, ejemplos: suelo, clima, aire, agua, fauna, flora.
- No renovables. Son los recursos naturales que por el uso irracional se terminan, porque no tienen la capacidad de regenerarse. Son ejemplos: carbón mineral, petróleo, metales, piedras preciosas (Buckalew et al, 1998).

2.5 Agua

El agua es una sustancia líquida sin olor, color, ni sabor, que se encuentra en la naturaleza en estado más o menos pura formando ríos, lagos y mares, ocupa las tres cuartas partes del planeta Tierra y forma parte de los seres vivos, está constituida por hidrógeno y oxígeno (H₂O) (Buckalew et al, 1998).

Según Acosta (2015) las aguas superficiales del país están representadas por 360 ríos, distribuidos en 10 regiones hidrográficas; sin embargo, a pesar que El Salvador cuenta con una abundante oferta hídrica a través de la lluvia y sus fuentes superficiales y subterráneas, en los últimos años se ha venido experimentado una crisis severa asociada con la disponibilidad de este recurso, dicha crisis está relacionada con:

- La escasez física del recurso debido a la disminución de la capacidad del territorio para infiltrar agua (dimensión cuantitativa). Esta pérdida de capacidad está asociada con la alteración del ciclo hidrológico.
- Disminución de la calidad del agua debido a procesos urbanos y rurales de contaminación de aguas superficiales y subterráneas (dimensión cualitativa).
- Deficiente institucionalidad relacionada con el uso, desarrollo y administración del recurso agua (dimensión institucional).

Se estima que el 90% de los cuerpos de agua dulce superficiales tienen alguna forma de contaminación por causa de desechos y vertidos domésticos, industriales, agroindustriales, hospitalarios (CESTA 2005 citado por Acosta 2015).

2.6 Calidad del agua

La calidad del agua se refiere a las características físicas, químicas y biológicas de los cuerpos de agua superficiales y subterráneos. Estas características deberán permitir su empleo sin causar daño, para lo cual deberá reunir dos características: a) no tener sustancias y microorganismos que sean peligrosos para los consumidores; y b) estar libre de sustancias desagradables para el consumo (color, turbiedad, olor, sabor) (CONACYT 1999 citado por Acosta 2015).

En algunos municipios del país se cuenta con redes de recolección de aguas residuales o servidas, pero en la mayoría de casos estas aguas son descargadas a un cuerpo receptor

como una quebrada, río, lago, laguna, mar, con alto contenido de cloro o sin ningún tipo de tratamiento, ocasionando así la proliferación de enfermedades gastrointestinales infecciosas en la población, especialmente a aquellas personas que viven en zonas cercanas al sitio de descarga o las que aguas abajo utilizan dicho líquido para el quehacer diario, y más grave aun cuando es ingerida por personas sin utilizar ningún método de potabilización (Bonilla 2015).

2.6.1 Calidad microbiológica del agua

La presencia y extensión de contaminación fecal es un factor importante en la determinación de la calidad de un cuerpo de agua. Las heces contienen una variedad de microorganismos y formas de resistencia de los mismos, involucrando organismos patógenos, los cuales son un riesgo para la salud pública al estar en contacto con el ser humano. El examen de muestras de agua para determinar la presencia de microorganismos del grupo coliformes que habitan normalmente en el intestino humano y de otros animales de sangre caliente, da una indicación. Dada la limitada capacidad de algunos miembros del grupo de organismos coliformes para sobrevivir en agua, sus números también pueden emplearse para estimar el grado de contaminación fecal (WHO 2003).

2.6.2 Calidad química del agua

El agua es el constituyente más importante del organismo humano y del mundo en el que vivimos. Tiene gran influencia en los procesos bioquímicos que ocurren en la naturaleza. Ésta influencia no sólo se debe a sus propiedades fisicoquímicas como molécula bipolar, sino también a los constituyentes orgánicos e inorgánicos que se encuentran en ella. La presencia de sustancias químicas disueltas e insolubles en el agua, que pueden ser de origen natural o antropogénico, define su composición física y química. Por otro lado, la contaminación de los recursos hídricos superficiales es un problema cada vez más grave, debido a que estos se usan como destino final de residuos domésticos e industriales, sobre todo en las áreas urbanas e incluso en numerosas ciudades importantes del continente. Estas descargas son las principales responsables de la alteración de la calidad de las aguas naturales, que en algunos casos llegan a estar tan contaminadas que su potabilización resulta muy difícil y costosa (Carranza 2015).

2.7 Contaminación del agua

Es la incorporación de materias extrañas como microorganismos, productos químicos, residuos industriales y de otros tipos de aguas residuales que deterioran la calidad del agua y la hacen inútil para bebida, regadío, lugar de recreo, soporte de vida acuática. Para el periodo 2000-2004, el Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET) de El Salvador, realizó el monitoreo de aguas superficiales y estableció los parámetros que afectan la aptitud de uso del agua para potabilización, que son los fenoles, coliformes fecales y la demanda bioquímica de oxígeno; se monitorearon los principales ríos de la cuenca del río Lempa y se clasificaron en calidad pésima o mala. El estudio concluyó que de las regiones hidrográficas analizadas, el 77% de las aguas superficiales se encuentran en algún grado de contaminación tomando el uso más restrictivo, para los otros usos el porcentaje de aguas contaminadas puede disminuir con el menú adecuado de programas que ayuden a restaurarlas o protegerlas (SNET 2010).

2.8 Normativa y legislación sobre el agua en El Salvador

Según el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), existen 27 instituciones públicas vinculadas con la gestión del recurso hídrico y, la legislación y Normas del país relacionadas a dicho recurso se encuentran dispersas y bajo distintos regímenes normativos. Agrega, además, que actualmente no se cuenta con una Ley General de Aguas y de una institución rectora de la gestión integrada del recurso (MARN 2002 citado por Acosta 2015).

El Reglamento Especial de Aguas Residuales que es operativizado por la Administración Nacional Acueductos y Alcantarillados (ANANDA), establece en su artículo 7 que toda persona natural o jurídica, pública o privada, titular de una obra, proyecto o actividad responsable de producir o administrar aguas residuales y de su vertido en un medio receptor, en lo sucesivo denominada el titular, deberá instalar y operar sistemas de tratamiento para que sus aguas residuales cumplan con las disposiciones de la legislación pertinente (Burgos 2015).

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

Esta Norma 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, 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. En el cuadro 3 se presentan los límites de los parámetros establecidos en esta normativa para aguas residuales urbanas, de cara a la selección de los tratamientos de depuración más adecuados (CONACYT 2009).

Cuadro 3. Parámetros para aguas residuales urbanas en la Norma Salvadoreña de Aguas Residuales Descargadas a un cuerpo receptor.

Parámetro	Valor máximo admisible
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	60 mg/l
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	150 mg/l
Sólidos en Suspensión	60 mg/l
Fósforo Total	15 mg/l
Aceites y grasas	20 mg/l
Nitrógeno Total	50 mg/l
Coliformes Fecales	2,000 NMP/100 ml
Coliformes Totales	10,000 NMP/100 ml

Fuente: CONACYT (2009).

2.9 Parámetros para determinar la calidad del agua

El agua natural es una solución de diversos compuestos que se van adhiriendo al agua de acuerdo a los procesos del ciclo hidrológico, estos le dan un carácter diferente a las aguas naturales de acuerdo a la composición de los suelos, a su ubicación y a los procesos físicos y químicos que se realizan durante su paso (Marín y Osés 2013).

La calidad del agua se determina en función de una serie de parámetros físicos, químicos y microbiológicos que caracterizan el agua en su estado natural (cuadro 4).

Cuadro 4. Parámetros físico-químicos determinantes de la calidad del agua.

Parámetros de calidad del agua	
Físicos	Turbiedad, color, olor, sabor, temperatura, sólidos y conductividad.
Químicos	pH, dureza, acidez, alcalinidad, fosfatos, sulfatos, hierro (Fe), manganeso (Mn), cloruros, oxígeno disuelto, grasas y aceites. Amoníaco, mercurio (Hg), plata (Ag), plomo (Pb), zinc (Zn), cromo (Cr), cobre (Cu), boro (B), cadmio (Cd), bario (Ba), arsénico (As), níquel (Ni), silicio (Si), nitratos, pesticidas, DBO ₅ , DQO.
Biológicos y microbiológicos	Protozoarios (patógenos), helmintos (patógenos), coliformes fecales y coliformes totales.

Fuente: Marín y Osés (2013).

2.9.1 Parámetros físicos

Son aquellos que tienen incidencia directa sobre las condiciones estéticas del agua, entre estos: turbidez, color, olor, sabor, temperatura, sólidos.

- **Turbidez**

Es la capacidad que tiene el material suspendido en el agua para obstaculizar el paso de la luz. La turbidez es ocasionada por una serie de causas, las más importantes pueden ser la erosión natural de las cuencas, la cual aporta sedimentos a los cauces de los ríos, la contaminación causada por industrias en sus procesos o por desechos domésticos.

- **Color**

El color es producido por descargas industriales, descomposición natural del material vegetal de las plantas (humos) y por la disolución de ciertos minerales (especialmente Hierro y Manganeso) presentes en el subsuelo (Bonilla 2015).

El color es importante en el tratamiento del agua porque su presencia causa rechazo a los consumidores aunque no precisamente ocasione problemas sanitarios, cuando el color es debido a vertimientos de desechos industriales se asocia a la presencia de sustancias que son tóxicas para el organismo (Sierra 2011).

- **Temperatura**

La temperatura es uno de los factores físicos más importante en el agua, pues, por lo general influye en el retardo o aceleración de la actividad biológica, la absorción del oxígeno, la precipitación de compuestos, la formación de depósitos y procesos de mezcla, floculación, sedimentación y filtración (Bonilla 2015).

- **Olor y Sabor**

El olor y sabor del agua puede deberse a la presencia de plancton, compuestos orgánicos generados por actividad de bacterias y algas, desechos industriales o a la descomposición de la materia orgánica (Sierra 2011).

- **Sólidos**

Se clasifican en sólidos sedimentables, sólidos en suspensión y sólidos disueltos, siendo los sólidos totales la suma de todos ellos. Estos sólidos, además de suponer la presencia de cuerpos o sustancias extrañas que pudieran en algún caso no ser recomendables, aumentan la turbidez del agua y disminuyen la calidad de la misma. Los sólidos totales disueltos (STD) describen la cantidad total de sólidos que están disueltos en el agua de un cuerpo receptor, estos están relacionados con la conductividad del agua ya que un aumento de estos iones aumenta la capacidad conductiva; además, se relacionan con el grado de mineralización del agua ya que son iones de sales minerales que el agua ha conseguido disolver a su paso; dicho de otra forma, la mayoría de sólidos que permanecen en el agua tras una filtración de arena, se refiere a sólidos disueltos (Bonilla 2015).

2.9.2 Parámetros químicos

Los parámetros químicos están relacionados con la capacidad de solvencia del agua, entre estos los más importantes a considerar para determinar la calidad del agua están: pH, dureza, sustancias orgánicas e inorgánicas, entre otras.

- **Potencial de Hidrógeno (pH)**

Es el término utilizado para expresar la intensidad de las condiciones ácidas o básicas del agua. El pH influye en algunos fenómenos que ocurren en el agua. Por lo general, un agua con pH menor de 6.0 es considerada agresiva y corrosiva para los metales. Un pH ácido en el agua no necesariamente indica la presencia de ácidos, pues algunas sales como las de

aluminio pueden generar pH 4 por hidrólisis. El pH tiene gran importancia en el tratamiento del agua, especialmente en la coagulación, desinfección y estabilización (Bonilla 2015).

La contaminación de los ecosistemas acuáticos con residuos orgánicos o industriales rompen los equilibrios ecológicos, lo cual conlleva a cambios drásticos de pH y estos a su vez llevan a marcados cambios o fenómenos en la respiración y fotosíntesis, disminuyéndose así los niveles de oxígeno durante la noche y produciendo excesos de este durante el día, donde la mayoría de especies no resisten dichos cambios y desaparecen (Roldan 2003).

- **Dureza**

Indica la suma de cationes polivalentes disueltos en el agua. Los cationes más frecuentes son calcio y magnesio, aunque el hierro, estroncio y manganeso pueden influir también. La dureza se registra normalmente como una cantidad equivalente de carbonato cálcico. La dureza es función en primer lugar de la geología del área a la que está asociada el agua superficial. Las aguas que discurren sobre calizas son propensas a ser duras porque la lluvia (naturalmente ácida debido a su contenido de dióxido de carbono) disuelve la roca y se lleva los cationes disueltos al sistema acuático (Drinan y Spellman 2000).

- **Conductividad**

La conductividad es un indicativo de las sales disueltas en el agua y mide la cantidad de iones especialmente de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , fosfatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos. Las aguas que tienen altas concentraciones de conductividad son corrosivas (Sierra 2011).

- **Nitratos**

Los nitratos son derivados del Nitrógeno que se encuentran en formas diferentes en los ecosistemas acuáticos y terrestres, estas formas incluyen Amoníaco (NH_3), Nitratos (NO_3), Nitritos (NH_2). Los nitratos son esenciales para el desarrollo de las plantas, pero en cantidades excesivas pueden causar problemas de calidad de las aguas. Junto con el Fósforo, cantidades excesivas de Nitrato pueden acelerar la eutrofización, que causa un gran incremento del crecimiento de las plantas acuáticas y cambios en los tipos de plantas y animales que viven en el cauce. El exceso de Nitratos (10 mg/l o más) puede causar hipoxia

(niveles bajos de Oxígeno disuelto) y llegar a ser tóxico para animales de sangre caliente en ciertas condiciones (Drinan y Spellman 2000).

Si un recurso hídrico recibe descargas de aguas residuales domésticas, el nitrógeno estará presente como nitrógeno orgánico amoniacal, el cual, en contacto con el oxígeno disuelto, se irá transformando por oxidación en nitritos y nitratos. Este proceso de nitrificación depende de la temperatura, del contenido de oxígeno disuelto y del pH del agua. En general, los nitratos (sales del ácido nítrico) son muy solubles en agua debido a la polaridad del ión. En los sistemas acuáticos y terrestres los materiales nitrogenados tienden a transformarse en nitratos (Bonilla 2015).

- **Fosfatos**

Las especies químicas de fósforo más comunes en el agua son los ortofosfatos, los fosfatos condensados (piro-, meta- y polifosfatos) y los fosfatos orgánicos. Estos fosfatos pueden estar solubles como partículas de detritus o en los cuerpos de los organismos acuáticos (Bonilla 2015).

Es común encontrar fosfatos en el agua. Son nutrientes de las vidas acuáticas y limitantes del crecimiento de las plantas; sin embargo, su presencia está asociada con la eutrofización de las aguas, con problemas de crecimiento de algas indeseables en embalses y lagos, con acumulación de sedimentos (Roldán 2003).

- **Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

La demanda química de oxígeno se utiliza como una medida del equivalente de oxígeno del contenido de materia orgánica de una muestra susceptible de oxidación por un oxidante químico fuerte en un período de tres horas. Para las muestras de una fuente específica la DQO puede relacionarse empíricamente con la DBO_5 , el carbono orgánico o la materia orgánica.

Para la cuantificación de este parámetro se prefiere el método de reflujos de dicromato a los procedimientos que utilizan otros oxidantes debido a su mayor capacidad oxidante, a su aplicabilidad, a una mayor variedad de muestras y a su fácil manipulación (APHA et al, 1992).

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)**

La DBO₅ corresponde a la cantidad de oxígeno necesario para descomponer la materia orgánica por acción bioquímica aerobia, se expresa en mg/l. Ésta demanda es ejercida por las sustancias carbonadas, las nitrogenadas y ciertos compuestos químicos reductores. Es una prueba que reduce a números un fenómeno natural, muy sencillo en teoría, pero en esencia muy complejo. El cálculo se efectúa mediante la determinación del contenido inicial de oxígeno de una muestra dada y lo que queda después de cinco días, conservada en un frasco cerrado a 20° C. La diferencia entre los dos contenidos corresponde a la DBO₅ (Tebbutt 2002).

2.9.3 Parámetros microbiológicos

Los microorganismos más importantes que se pueden encontrar en las aguas son: bacterias como *E. coli*, coliformes fecales y totales, virus, hongos, protozoos y distintos tipos de algas.

- **Coliformes totales**

Las coliformes totales incluyen una amplia variedad de bacilos aerobios y anaerobios facultativos, gran negativos y no esporulantes, capaces de proliferar en presencia de concentraciones relativamente altas de sales biliares fermentando la lactosa y produciendo ácido o aldehído en 24 horas a 35° – 37° C. *Escherichia coli* y los coliformes termolábiles son un subgrupo del grupo de los coliformes totales que pueden fermentar la lactosa a temperaturas más altas. Las bacterias pertenecientes al grupo de los coliformes totales (excluida *E. coli*) están presentes tanto en aguas residuales como en aguas naturales. Algunas de estas bacterias se excretan en las heces de las personas y animales, pero muchos coliformes son heterótrofos y capaces de multiplicarse en suelos y medios acuáticos. Los coliformes totales pueden también sobrevivir y proliferar en sistemas de distribución de agua, sobretodo en presencia de biopelículas (OMS 2006).

2.10 Humedales artificiales

Los humedales artificiales son zonas construidas por las personas en las que, de forma controlada se reproducen los procesos de eliminación de contaminantes que tienen lugar en los humedales artificiales. El carácter artificial de estos humedales lo definen los siguientes aspectos: el confinamiento del humedal se construye mecánicamente y se impermeabiliza para evitar pérdida de aguas al subsuelo, se utilizan sustratos diferentes al terreno original

para el enraizamiento de las plantas y se eligen plantas que colonizaran el humedal (CENTA s. f.).

La tecnología de humedales artificiales puede ser considerada como un complejo ecosistema en el que interaccionan el sustrato, la vegetación y el agua a tratar.

2.10.1 Tipos de humedales artificiales

En función de que el agua circule a través de los humedales superficialmente (por encima del sustrato) o de forma subterránea (a través del sustrato), los humedales se clasifican en Humedales Artificiales de Flujo Superficial y Humedales Artificiales de Flujo Sub superficial (CENTA s.f.).

1. Humedales Artificiales de Flujo Superficial

En este tipo de humedales el agua se encuentra expuesta directamente a la atmosfera y circula, preferentemente, a través de los tallos de las plantas. Pueden considerarse estos humedales como una variedad de los lagunajes clásicos, con la diferencia de que se opera con menores profundidades de la lámina de agua (inferiores a 0.40 m) y de que las balsas se encuentran colonizadas por plantas acuáticas emergentes (CENTA s. f.).

2. Humedales Artificiales de Flujo Sub superficial

En estos humedales el agua a tratar circula exclusivamente a través de un material granular (arena, gravilla, grava), de permeabilidad suficiente, confinado en un recinto impermeabilizado, y que sirve de soporte para el enraizamiento de la vegetación, que habitualmente suele ser Carrizo (*Phragmites australis*). Este tipo de humedales presenta cierta ventaja con respecto a los de Flujo Superficial, al necesitar menos superficie de terreno para su ubicación y al evitar los problemas de aparición de olores y de mosquitos, al circular el agua sub superficialmente. Según la dirección en la que circulan las aguas a través del sustrato, los Humedales Artificiales de Flujo Sub superficial se clasifican en verticales y horizontales (CENTA s. f.).

2.11 Pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*)

El pasto vetiver pertenece a la familia de las poaceas. Esta especie de pasto se encuentra en zonas pantanosas de la India, pero a pesar de ser originario de ese sitio también se le puede encontrar en los países de las regiones tropicales donde se cultiva ampliamente. El

pasto vetiver es una planta perenne, con inflorescencia y semillas estériles, tallos erguidos en forma recta de una altura de 0.5 a 1.5 m, hojas relativamente rígidas, largas o angostas, que alcanzan hasta 75 cm de largo y no más de 8 mm de ancho. La panícula (en donde se desarrolla la inflorescencia) tiene entre 15 a 40 cm de largo (Alegre 2007).



Figura 1. Filtro biológico de la PTAR de San Luis Talpa.

El pasto vetiver es una de las plantas más utilizadas en conservación de suelos y agua, y en otros usos como en bioremediación, bioingeniería, forrajes, agroforestería, medicina (utilizan la raíz para problemas estomacales y astringentes, además de un antídoto contra los venenos, fiebres biliosas, sudores, sed, úlceras y enfermedades de la sangre), artesanías, energía (Alegre 2007).

2.11.1 Características del pasto vetiver que lo hacen idóneo para tratar aguas residuales

- Altamente tolerante a suelos con elevada acidez, alcalinidad, salinidad, sodicidad y magnesio.
- Altamente tolerante a Aluminio, Magnesio, Arsénico, Cadmio, Cromo, Níquel, Plomo, Mercurio, Selenio y Zinc en los suelos.
- Capacidad para resistir niveles extremos de suministro de Nitrógeno (10,000 kg N/ha/año) y Fósforo (1,000 kg N/ha/año).
- 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 (células de aire). El Vetiver prospera bajo condiciones de hidroponía
- Alta tasa de uso del agua en humedales o bajo altas tasas de suministro de agua el pasto vetiver puede utilizar más agua que otras plantas comunes de humedal tales como *Typha* spp, (aproximadamente 7.5 veces más), *Phragmites australis* y *Schoenoplectus validus*. Bajo condiciones óptimas de crecimiento, una hectárea de vetiver potencialmente utilizaría 279 L/ha/día (Truong y Cruz 2010).

2.12 Descripción de la Planta de tratamiento de Aguas Residuales de ANDA

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de tipo Ordinario se encuentra ubicada en el municipio de San Luis Talpa, departamento de La Paz, en El Salvador (figura 2 Esquema de la Planta de Tratamiento de San Luis Talpa y sus componentes).

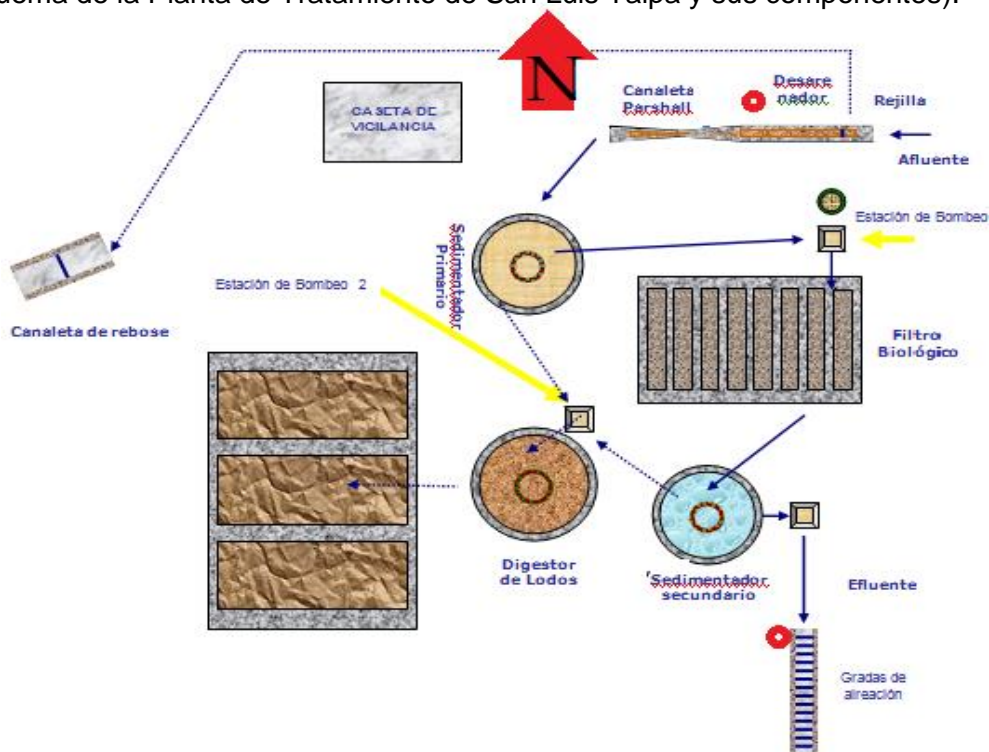


Figura 2. Esquema de la Planta de Tratamiento de San Luis Talpa y sus componentes.

La depuración de las aguas residuales se efectúa a través de su paso por diferentes unidades que se describen a continuación:

1. Rejilla

Se retiene todo el material grueso, su principal objetivo es retener basuras, material sólido grueso que pueda afectar el funcionamiento de las bombas, válvulas, aireadores, entre otros. Se utilizan solamente en los desbastes previos, y sirven para que los desechos no dañen las máquinas. Se construyen con barras de 6 mm de grosor y son acomodadas aproximadamente a 100 mm de distancia (Burgos 2015).

2. Desarenador

Son unidades encargadas de retener arenas, guijarros, tierra y otros elementos vegetales o minerales que traigan las aguas (Seoanez 1995).

Posee dos cámaras que se utilizan alternadamente por lo que a diario deben cambiarse de operación abriendo las válvulas para el drenado.



Figura 3. Rejilla, desarenador y canaleta Parshall de la PTAR de San Luis Talpa.

3. Canaleta Parshall

Es un dispositivo hidráulico que inicia con una sección convergente seguida de un tramo angosto llamado garganta, el cual lleva el agua hacia un tramo divergente con fondo en descenso y luego ascendente; con esta forma se controla el caudal que entra a la planta permitiendo también que éste sea medido a través de una regla graduada (Burgos 2015).

4. Decantador primario

Son aquellos que eliminan los sólidos en suspensión presentes en el agua residual. Los principales procesos físico-químicos que pueden ser incluidos en el tratamiento primario son los siguientes: sedimentación, flotación, coagulación–floculación y filtración (Seoanez 1995).



Figura 4. Decantador primario en la PTAR de San Luis Talpa.

5. Filtro biológico

Estimula las bacterias aeróbicas contenidas en las aguas servidas, reduce el DBO_5 , degradando la materia orgánica presente en el agua residual (Seoanez 1995).



Figura 5. Filtro biológico de la PTAR de San Luis Talpa.

6. Tratamiento secundario

Su finalidad es la reducción de la materia orgánica presente en las aguas residuales una vez superadas las fases de pretratamiento y tratamiento primario (Seoanez 1995).



Figura 6. Decantador secundario de la PTAR de San Luis Talpa.

7. Gradadas de aireación

Consiste en un total de 11 gradas de cemento de aproximadamente 0.40 m de ancho por 0.80 m de largo, las cuales reciben las aguas residuales tratadas por los tratamientos primario y secundario, cuya función es básicamente la oxigenación del agua antes de su vertido al cuerpo receptor, en este caso, el río Comalapa. Se constituye en la última etapa de la planta de tratamiento (Burgos 2015).



Figura 7. Gradadas de aireación de la PTAR de San Luis Talpa.

8. Digestor de Lodos

Esta unidad recibe los lodos provenientes del decantador primario y secundario, se depositan en un tiempo de aproximadamente 30 a 45 días, durante el cual los lodos son digeridos por microorganismos en un proceso anaerobio. En ella se forman diversas capas derivadas del proceso: Una primera sobrenadante de lodos, Aceites y Grasas, la segunda se compone de lodos en proceso de digestión; la tercera y más inferior se forma de los lodos ya digeridos, que serán purgados hacia los patios de secado (Burgos 2015).



Figura 8. Digestor de lodos de la PTAR de San Luis Talpa.

9. Patios de secado

Los lodos digeridos son depositados en los patios de secado, los cuales tienen como función el reducir sus niveles de agua por acción del sol y el aire principalmente. Tiene tres compartimentos, todos con un fondo falso conformado con bloque de sáltex y arena, que permite el paso del exceso de agua de los lodos hacia unas tuberías ubicadas en la parte inferior (Burgos 2015).



Figura 9. Patios de secado de la PTAR de San Luis Talpa.

3. Materiales y Métodos

3.1 Ubicación de la investigación

La investigación se realizó en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de ANDA, ubicada en el municipio de San Luis Talpa, departamento de La Paz, la cual se encuentra a una altitud 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.

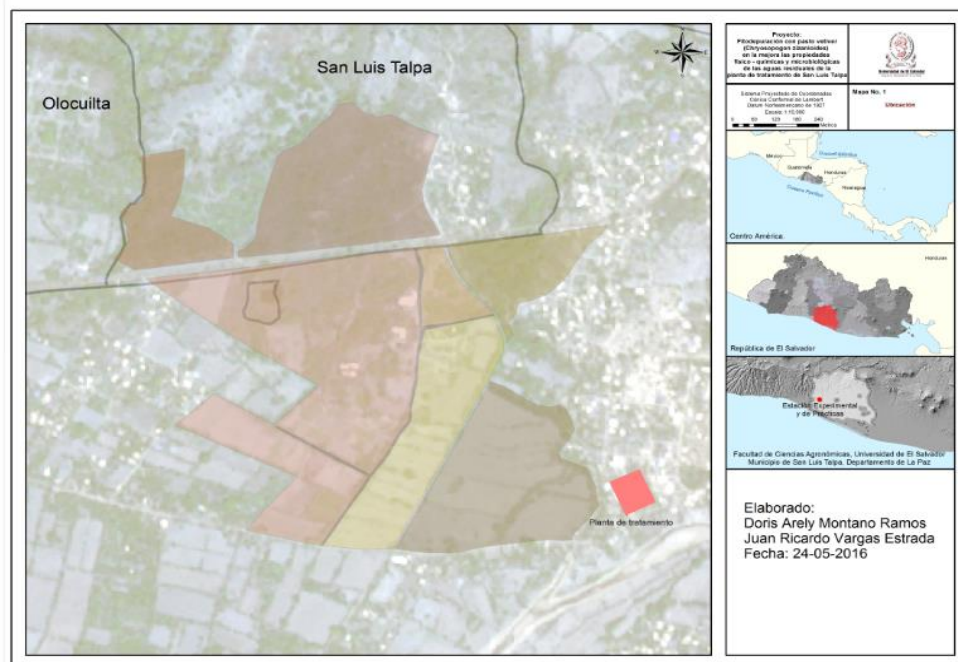


Figura 10. Mapa de ubicación de la PTAR de ANDA en San Luis Talpa, La Paz.

3.1.1 Readecuación del lugar donde se estableció la investigación

Se visitó la Planta de Tratamiento para realizar control de malezas en la zona circundante a los humedales, utilizando herbicida glifosato para la eliminación del zacate estrella (*Cynodon plectostachiu*), para ello el herbicida se diluyó en un equipo de aspersion de espalda con boquilla cónica, 200 cc de glifosato en tres litros de agua y posteriormente se aplicó en toda el área. 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 una vez este estuviera establecido, para realizar esta actividad fue necesario la preparación de postes de tigüilote (*Cordia dentata*) en la Estación Experimental y de Prácticas, de la Facultad de Ciencias

Agronómicas de la Universidad de El Salvador, los cuales fueron trasladados a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de San Luis Talpa, se realizó el ahoyado a 1.5 m de distancia cada uno, se colocaron los postes y se pusieron cuatro hileras de alambre de púa.

Además, se conocieron los componentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, el decantador primario, filtro biológico, decantador secundario, gradas de aireación, digestor de lodos, y el patio de secado donde se hace la deposición final de lodos.

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.



Figura 11. Decantador secundario y gradas de aireación.

3.2 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_5), 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 cuantifico: DQO, DBO_5 , 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 (figura 11).



Figura 12. Muestreo realizado por personal de ANDA en efluentes de la Planta de Tratamiento.

3.3 Descripción de los humedales

Los humedales existentes en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de ANDA en San Luis Talpa, 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 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.

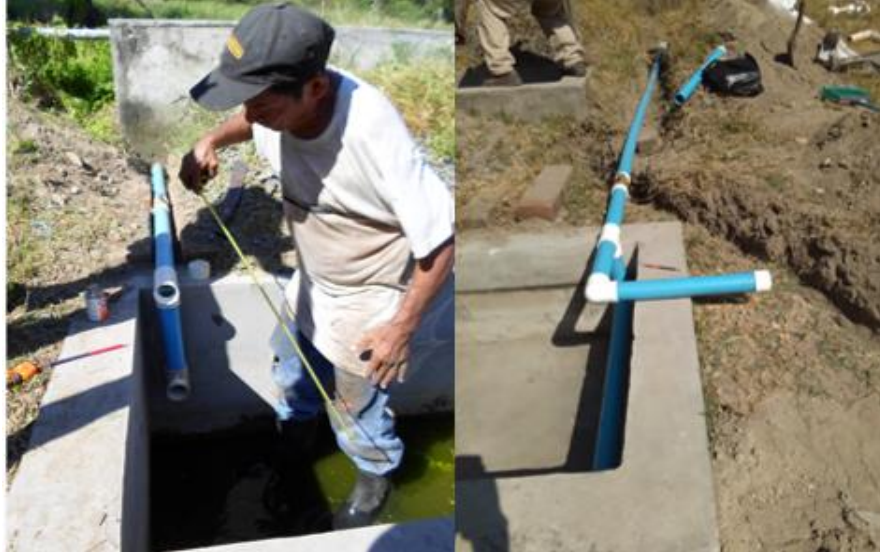


Figura 13. Instalación de tubería en los humedales.

3.3.1 Diseño del sistema de tuberías en los humedales

El diámetro de los tubos utilizados fue de 2 pulgadas y se colocaron 2 válvulas de paso por humedad para controlar el flujo de agua de entrada a cada humedal y para regular los caudales.



Figura 14. Instalación de tuberías para el sistema de flujo sub superficial y válvula para regular caudal de entrada.

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 regular el paso y los caudales de entrada de agua para cada humedal.

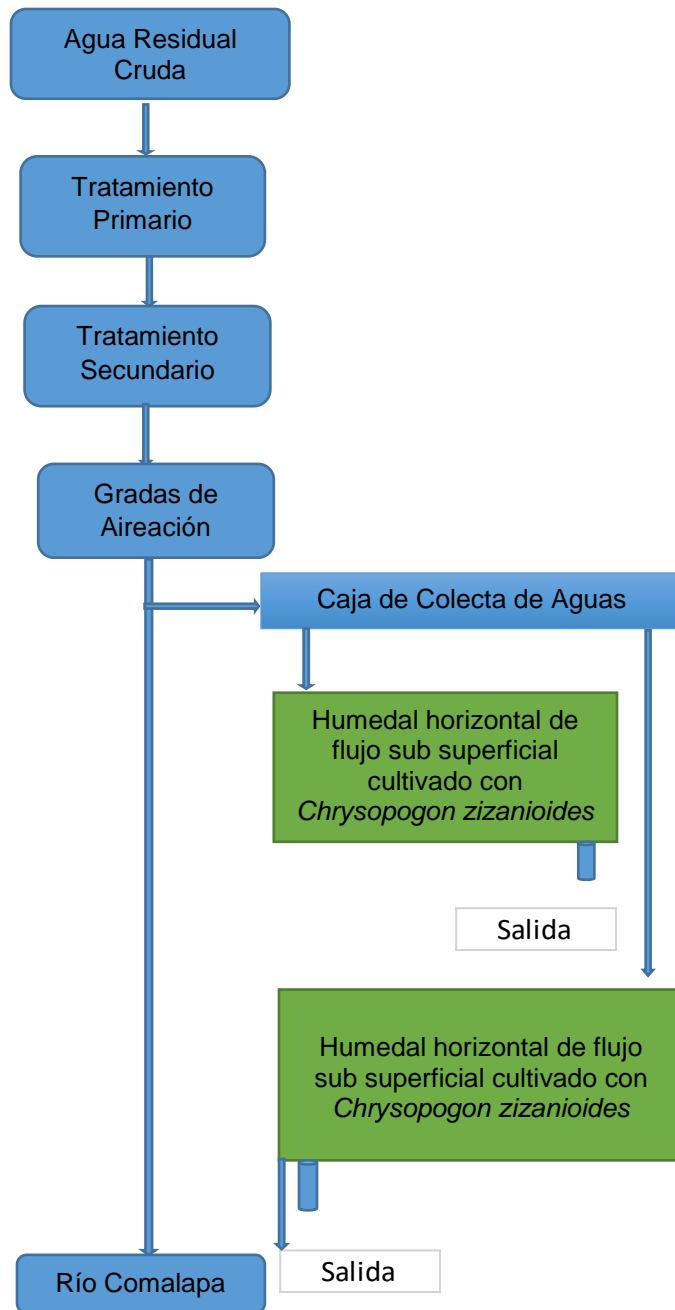


Figura 15. Esquema de instalación de tuberías en los humedales.

3.4 Colecta del pasto Vetiver

El pasto vetiver fue adquirido por medio de un productor en el municipio de Zacatecoluca, departamento de La Paz. El pasto se colecto en forma de “macolla” (conjunto de tallos), 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.



Figura 16. Colecta del pasto vetiver en Zacatecoluca por medio de un productor local.

3.4.1 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 (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 las “macollas”, de pasto vetiver se les podó el follaje a una altura de 0.30 m y las raíces se recortaron hasta 0.10 m de largo desde la base de la “macolla” 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.



Figura 17. Medicion y corte del follaje del pasto vetiver.



Figura 18. Siembra del pasto vetiver en los humedales.

3.4.2 Adaptación del pasto vetiver a las condiciones ambientales

Después de establecido el pasto en los humedales, a estos se les hizo pasar el agua proveniente del segundo decantador de la Planta de Tratamiento con un flujo libre sin regular, para que las macollas de vetiver se adaptaran a las condiciones del sustrato y al agua residual. Se consideró un periodo de 3 meses para la adaptación del pasto a la naturaleza de los humedales.



Figura 19. Pasto vetiver en adaptación

3.5 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 utilizo para encontrar el caudal fue :

$$L = Q \cdot TR / w \cdot d \cdot \alpha$$

Donde:

W = ancho del humedal (m).

L = largo del humedal (m).

d = profundidad de lámina de agua (m).

α = 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 retencion en el humedal se muestran en el siguiente cuadro:

Cuadro 5. Caudales calculados para los dos humedales.

Humedal	Profundidad	Ancho	Largo	porosidad	Tiempo de retención	Caudal	
	(metros)	(metros)	(metros)	(fracción)	(Día)	(m³/día)	(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

Fuente: Elaboracion propia (2017).

Los caudales para ambos humedales resultaron similares, por tal razon 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 regulacion de los caudales, ya que aforar a volúmenes muy pequeños resultaba muy dificultoso.

3.6 Metodología de muestreo

La toma de las muestras de aguas residuales fue realizada en el siguiente orden: en las gradas de aireación y a la salida de cada humedal (figura 20).

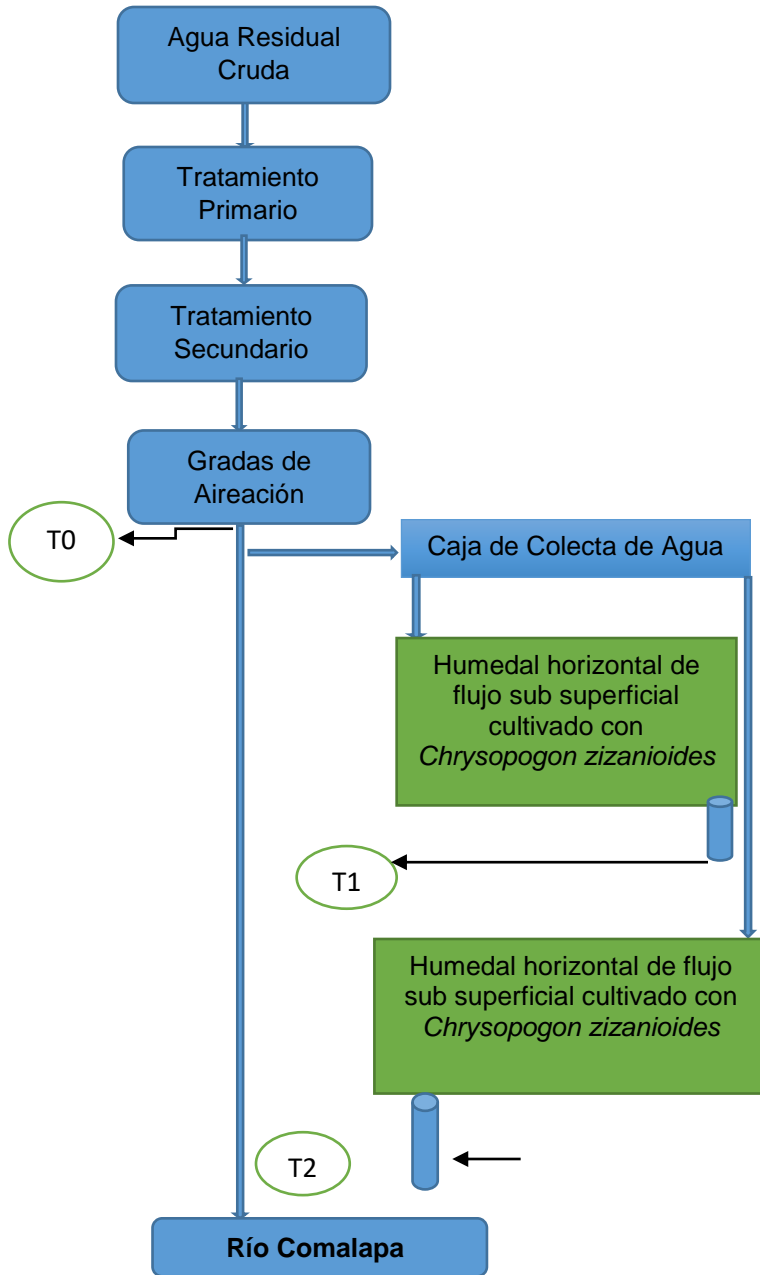


Figura 20. Puntos de muestreo de la investigación.

Donde:

- T0: Punto de muestreo a la salida de las gradas de aireación.
- T1 y T2: Puntos de muestreos del efluente de las aguas procedentes de los humedales horizontales de flujo sub superficial.

Para el muestreo del agua de los efluentes de los humedales, primero se llenaba 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



Figura 21. Muestreo del agua residual en las gradas de aireación.

Para la colecta de las muestras de aguas para analizar parámetros físico-químicos y microbiológicos se utilizaron frascos de polietileno de 1 litro de capacidad. Únicamente para el parámetro de aceites y grasas la muestra se almacena en frascos de vidrio color ámbar de 1 litro de capacidad. Antes de cada muestreo los frascos se ambientaron con el agua a muestrear, luego se llenaron y posteriormente, los frascos se colocaron en hieleras con hielo a una temperatura de 4°C, las muestras para análisis microbiológicos y en otra hielera las muestras para análisis físico-químicos. Después de recogidas todas las muestras eran trasladadas al laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador (UES) para el análisis de Nitrógeno Total, Fosforo Total y DBO₅; los DQO, aceites y grasa al laboratorio Físicoquímico de Aguas de la Facultad de Química y

Farmacia de la UES, y los coliformes totales y fecales al laboratorio de Microbiología de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la UES.



Figura 22. Muestras de aguas acondicionadas en hieleras.

3.7 Parámetros analizados

Los parámetros que se tomaron en cuenta para evaluar el efecto de la fitodepuración son los establecidos por la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO.13.49.01:09 “Aguas. Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor”: Coliformes Fecales, Coliformes Totales, DQO, DBO₅, Nitrógeno total, Fósforo total, Temperatura, pH, Aceites y Grasas. El resultado de laboratorio de cada parámetro se comparó con la Norma.

Cuadro 6. Parámetros analizados en la investigación.

Parámetro
Demanda Química de Oxígeno (mg/l)
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/l)
Coliformes Fecales (NMP/100 ml)
Coliformes Totales (NMP/100 ml)
Fosfatos (mg/l)
Nitratos (mg/l)
pH
Temperatura (° C)
Aceites y Grasas (mg/l)

Fuente: Elaboración propia (2017).

3.8 Metodología estadística

Se realizó una prueba de T 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 PTAR; 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 un total de 3 repeticiones; 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.

Cuadro 7. Tratamientos y repeticiones.

Tratamiento y repetición	Caudal (Q, m³/día)
Tiempo de retención 1 día (T1R1)	0.4613
T1R2	0.4613
T1R3	0.4613
Tiempo de retención 2 días (T2R1)	0.2306
T2R2	0.2306
T2R3	0.2306
Tiempo de retención 3 días (T3R1)	0.1538
T3R2	0.1538
T3R3	0.1538
Tiempo de retención 4 días (T4R1)	0.1153
T4R2	0.1153
T4R3	0.1153

Fuente: Elaboración propia (2017).

3.9 Medición del crecimiento del pasto Vetiver durante 6 semanas

El pasto después del mes de adaptación se pudo una altura de 0.80 m y se llevó un monitoreo del crecimiento en altura del pasto durante seis semanas seguidas.

4. Resultados y Discusión

La determinación de los parámetros en las aguas residuales provenientes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de San Luis Talpa, La Paz, se realizó según la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO.13.49.01:09 “Aguas. 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.

Los objetivos de esta investigación son caracterizar mediante análisis de laboratorio las aguas crudas de la Planta de Tratamiento y los efluentes de la misma; evaluar el efecto ejercido por los tiempos de retención del agua en los humedales artificiales con pasto vetiver en relación a los parámetros físico químicos que establece la Norma; y realizar un análisis de los resultados de fitodepuración del pasto vetiver en los humedales con los parámetros permisibles que establece la Norma Salvadoreña Obligatoria.

4.1 Caracterización de las aguas de la Planta de Tratamiento

En el cuadro 8 se presentan los resultados de los parámetros físico-químicos: Demanda Bioquímica de Oxígeno ($DBO_{5,20}$), Demanda Química de Oxígeno (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. Los parámetros aceites y grasas, y los microbiológicos de coliformes fecales y totales no se determinaron, ya que no se encuentran dentro de los parámetros que rutinariamente se realizan a las aguas efluentes de la Planta de Tratamiento, debido a que los afluentes por su procedencia poseen cargas orgánicas contaminantes muy elevadas.

La DBO_5 es el parámetro que más se emplea en lo que a contaminación se refiere, su determinación se relaciona con la medición del oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica (Metcalf y Eddy 1995).

En el cuadro 8 se observa que para los 3 muestreos realizados, el parámetro DBO_5 (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”.

Este parámetro es crucial para el diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), para que los procesos sean eficientes y se ejerza un control estricto en el cumplimiento de las limitaciones a las que están sujetos los vertidos (Metcalf y Eddy 1995).

Cuadro 8. Resultados de análisis físico químicos del agua afluente de la Planta de Tratamiento de San Luis Talpa en febrero, marzo y abril (anexos 1-6).

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

Fuente: Elaboración propia (2017).

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 8 se observa que en el mes de febrero la DQO es mayor que la DBO₅, lo que indica la entrada de agua de tipo especial a la Planta de Tratamiento.

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 DBO₅, 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.

Los parámetros pH y temperatura están dentro de los rangos que estipula la Norma (cuadro 8).

La investigación de Burgos Huevo (2015) reportó que todas las determinaciones de pH y temperatura de los afluentes de la Planta de Tratamiento de San Luis Talpa se encontraban

dentro del rango permitido por la Norma, entre 5.5-9 unidades de pH, y para temperatura, solamente dos determinaciones superaron el límite superior del rango permitido.

Burgos Huevo (2015) menciona que para todos los muestreos de su investigación en los afluentes de la Planta de Tratamiento, los parámetros DQO y DBO₅ superaron ampliamente el límite máximo permisible que estipula la Norma.

En relación a los parámetros DQO y DBO₅ de los afluentes de la Planta de Tratamiento no cumplen con el límite máximo permisible que establece la Norma de 150 mg/L y 60 mg/L, respectivamente.

Si el agua fuese vertida al cuerpo receptor, en este caso el río Comalapa, sin hacerla pasar a través de la Planta de Tratamiento esta podría ser determinante en cuanto a la contaminación del río, ya que los microorganismos al consumir la materia orgánica requerirán altas cantidades de oxígeno, despojando de este a la fauna y flora acuática, proliferando los microorganismos patógenos y convirtiendo al río en un foco de infección.

En el cuadro 9 se presentan los resultados de los análisis de las aguas residuales de los parámetros físico-químicos en las aguas efluentes de la Planta de Tratamiento de San Luis Talpa y los resultados de los Coliformes Fecales y Totales del agua tratada.

El contenido de la DQO (86.4 mg/L, 108.8 mg/L y 64 mg/L) en los tres muestreos realizados a las aguas efluentes de la Planta de Tratamiento, resultó por debajo de los límites que establece la Norma, por lo tanto, la Planta de Tratamiento está ejerciendo un tratamiento eficiente y eficaz en la disminución de la cantidad de oxígeno requerida para degradar químicamente los materiales orgánicos, puesto que el nivel máximo permisible de este parámetro es 150 mg/L.

Cuadro 9. Resultados de análisis de aguas residuales del efluente de la Planta de Tratamiento de San Luis Talpa de febrero, marzo y abril (anexos 7-12).

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

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por el laboratorio de aguas de ANDA (2017).

En febrero la DBO₅ tuvo una baja muy significativa, teniendo un resultado de 11 mg/L. Los resultados de la DBO₅ para los meses de 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 DBO₅ del efluente para ambos meses.

En febrero se tuvo el menor valor de DBO₅ en los efluentes de la Planta de Tratamiento, ya que si se revisan los resultados de DBO₅ del afluente de la Planta de Tratamiento de este mes (cuadro 8) puede notarse que se tuvo la entrada de aguas con menos contenido de DBO₅ con un valor de 319 mg/L y para marzo y abril se cuantificaron 984 y 1,312 mg/L respectivamente. Esta variación de contenidos de un mes a otro es característico de las aguas residuales domesticas, Espigares y Pérez (1985) mencionan que las aguas residuales aunque se deriven solo de efluentes domésticos, la composición varia influenciada por algunos factores como son los hábitos alimentarios, consumo de agua, uso de productos de limpieza en el hogar, etc., la composición, al igual que la cantidad de aguas residuales, sufre también variaciones respecto al tiempo. Varía en el transcurso de las distintas horas del día, en función de los días de la semana y se presentan variaciones estacionales.

Según APHA (1992) la Demanda de Química de Oxígeno (DQO) por lo general debe ser mayor que la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅); y los resultados de ésta investigación de los meses de marzo y abril demuestran ser datos extraños, ya que la

Demanda Bioquímica de Oxígeno es mayor que la Demanda Química de Oxígeno (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 debido que las muestras fueron tomadas por los investigadores y el personal de ANDA.

Los microorganismos coliformes siempre se encuentran en gran cantidad en las aguas negras, las cuales contienen usualmente de 400,000 a 500,000 bacterias coliformes/ml, cuando menos. Si las aguas negras entran en contacto con el agua limpia, las bacterias son arrastradas con ella y sobrevivirán por largos periodos de tiempo. En consecuencia, su presencia proporciona una evidencia positiva de contaminación y de la posible presencia de bacterias patógenas provenientes de exoneraciones intestinales de los animales (DSENY 2008).

En el cuadro 9 se presentan los resultados de los Coliformes Fecales y Totales, los cuales 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 tanto, el agua que la Planta de Tratamiento de San Luis Talpa está vertiendo al cuerpo receptor, contiene elevados índices de contaminación.

El Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York (2008) menciona que se puede considerar un agua como segura al menos con una bacteria coliforme por cada 100 ml y la Norma NSO.13.49.01:09 establece que los límites máximos permitidos de coliformes fecales y totales para que un agua pueda ser vertida a un cuerpo receptor son de 2,000 y 10,000 NMP/100 ml.

Los resultados de los análisis de pH y temperatura del efluente de la Planta de Tratamiento de San Luis Talpa, en los meses que se hicieron los muestreos, se mantuvieron dentro de los rangos estipulados por la Norma.

Según Romero Rojas (1999) existe una relación de los valores de DQO y de DBO_5 en proporciones que varían de acuerdo a los componentes asociados a la materia orgánica en degradación. Esta relación es de gran importancia para determinar el tipo de contaminación de las aguas y la biodegradabilidad de la materia contaminante. Establece que para aguas

domesticas la relación DBO_5/DQO es 0.4 a 0.8 y para aguas estabilizadas biológicamente la relación es menor que 0.12.

En el cuadro 10 se muestra la relación DBO_5/DQO para el muestreo realizado a los efluentes de la Planta de Tratamiento en los meses de febrero, marzo y abril, los cuales no se tomaron en cuenta debido a que los resultados mostraron un contenido de DBO_5 mayor a la DQO . El valor de la relación DBO_5/DQO para el mes de febrero está dentro de las aguas domésticas, según los rangos que establece Romero Rojas (1999).

Cuadro 10. Relación DBO_5/DQO .

Mes	DBO_5 Mg/L	DQO Mg/L	Relación $DBO_{5,20}/DQO$
Febrero	11	84.6	1/9

Fuente: Elaboración propia (2017).

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

4.3 Resultados de aceites y grasas

Los resultados de aceites y grasas (expresado en miligramos por litro) demuestra que al dar un tiempo de retención de un día a las aguas residuales en los humedales cultivados con pasto vetiver, los niveles de dicho parámetro se reducen para las repeticiones uno y dos de 0.70 a 0.1 mg/L, y de 4.0 a 3.4 mg/L, mientras que la repetición tres se incrementa de 4.0 a 6.0 mg/L.

Con el tiempo de retención de dos días el nivel de aceites y grasas en la repetición uno disminuyo de 4.2 a 3.5 mg/L, en la repetición dos aumento de 4.2 a 4.3 mg/L y en la repetición tres disminuyo de 1.2 a 1.1 mg/L; para el tiempo de retención tres días, en la repetición uno se incrementa el nivel de 0.7 a 3.1 mg/L, y en la repetición dos y tres disminuyo de 4.6 a 3.6 mg/L, y de 4.6 a 3.2 mg/L.

Para la retención del agua por cuatro días, disminuye la repetición uno de 4.4 a 4.2 mg/L; en la repetición dos y tres aumenta de 4.4 a 8.2 mg/L, y de 1.2 a 1.4 mg/L, respectivamente; al realizar la comparación de resultados con la Norma se puede observar que los valores andan por debajo del límite máximo permisible que es de 20 mg/L (cuadro 11)

Cuadro 11. Resultados de aceites y grasas del efluente de los humedales y de la PTAR según análisis de laboratorio.

Tratamiento y repetición	Norma (mg/L)	Efluente de PTAR (Testigo T0, (mg/L)	Efluente del humedal (mg/L)
Tiempo de retención 1 día (T1R1)	20	0.7	0.1
T1R2	20	4.0	3.4
T1R3	20	4.0	6.0
Tiempo de retención 2 días (T2R1)	20	4.2	3.5
T2R2	20	4.2	4.3
T2R3	20	1.2	1.1
Tiempo de retención 3 días (T3R1)	20	0.7	3.1
T3R2	20	4.6	3.6
T3R3	20	4.6	3.2
Tiempo de retención 4 días (T4R1)	20	4.4	4.2
T4R2	20	4.4	8.2
T4R3	20	1.2	1.4

Fuente: Elaboración propia (2017).

En la figura 23 puede apreciarse como los tratamientos demuestran cambios en el parámetro de aceites y grasas con los diferentes tiempos de retención. Todas las cuantificaciones de los resultados se encuentran por debajo del límite máximo permisible por la Norma.

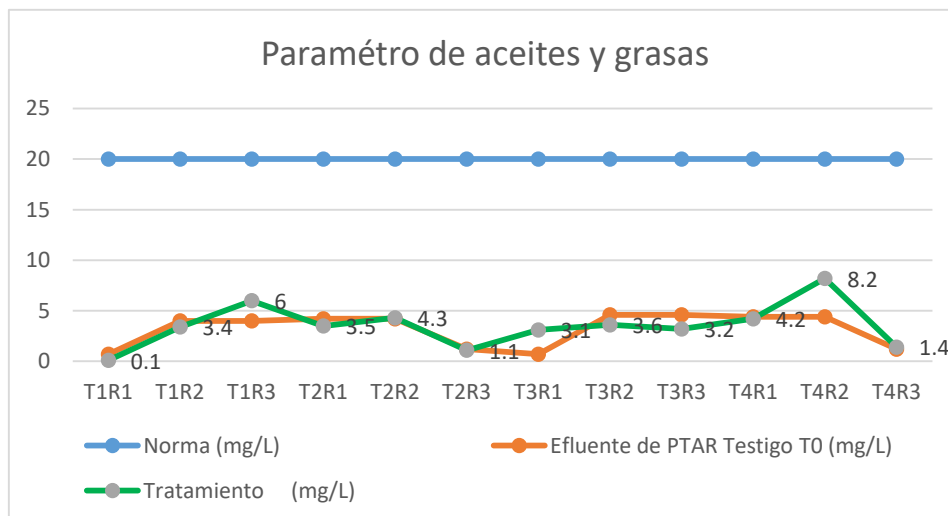


Figura 23. Comportamiento de aceites y grasas en los tratamientos aplicados.

4.4 Resultados de pH

Al analizar el pH de las aguas residuales después de haber estado en los humedales en los diferentes tiempos de retención, se demuestra que en todos los tratamientos con sus respectivas repeticiones el pH se redujo en las aguas residuales.

Cuadro 12. Resultados de pH del efluente de los humedales y de la Planta de tratamiento según análisis de laboratorio.

Tratamiento y repetición	Norma	Efluente de PTAR (Testigo T0)	Efluente del humedal
Tiempo de retención 1 día (T1R1)	5.5-9	7.88	7.02
T1R2	5.5-9	8.37	7.36
T1R3	5.5-9	8.37	7.4
Tiempo de retención 2 días (T2R2)	5.5-9	7.92	7.24
T2R2	5.5-9	7.92	7.17
T2R3	5.5-9	7.31	7.25
Tiempo de retención 3 días (T3R1)	5.5-9	7.88	7.06
T3R2	5.5-9	8.08	7.25
T3R3	5.5-9	8.08	7.13
Tiempo de retención 4 días (T4R1)	5.5-9	7.74	7.18
T4R2	5.5-9	7.74	7.19
T4R3	5.5-9	7.31	6.81

Fuente: Elaboración propia (2017).

Los resultados de la investigación demuestra que a mayor tiempo de retención de las aguas residuales en los humedales cultivados con pasto vetiver el pH disminuye (figura 24). El tratamiento que mayor efecto obtuvo fue el tiempo de retención de cuatro días, seguido de los tiempos de retención de tres días (7.08), dos días (7.22) y un día (7.26), en comparación con el testigo (7.88), se indica un efecto en la disminución de pH en el efluente de los humedales y a la vez cumple con la Norma ya que se encuentran dentro de los rangos que establecidos como límite máximo permitido de 5.5 a 9.

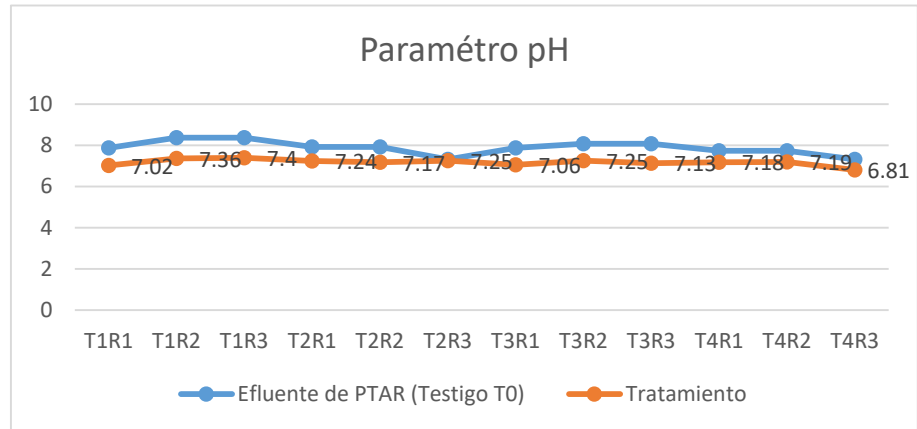


Figura 24. Comportamiento del pH en los diferentes tratamientos aplicados.

Según un estudio realizado por Arcana et al. (2010), menciona 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 SHM tanto como 0.5 cercano a neutro.

Truong et al. (2003) menciona que al tratar las aguas residuales en humedales bajo hidroponía, es capaz de bajar el pH de 7.3 a 6.0, con un tiempo de retención de cuatro días.

Según Scavo *et al.* (2004), un estudio realizado en la Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, en un sistema de tratamiento de aguas residuales provenientes de una planta de gaseosas, con pasto vetiver, la mayor eficiencia en la estabilización de pH fue en el tratamiento 1 con un tiempo de residencia de 20 días y una velocidad de flujo de 30 Litros/día.

4.5 Resultados de temperaturas

En el cuadro 13 se presentan las temperaturas de las aguas residuales tratadas en los humedales con pasto vetiver, los valores obtenidos se expresan en grados Celsius (C°).

Cuadro 13. Resultados de temperaturas del efluente de los humedales y de la PTAR según análisis de laboratorio.

Tratamiento y repetición	Norma	Efluente de PTAR (Testigo T0 °C)	Efluente del humedal (°C)
Tiempo de retención 1 día (T1R1)	20°-35°C	16	15.5
T1R2	20°-35°C	25	17
T1R3	20°-35°C	25	15
Tiempo de retención 2 días (T2R1)	20°-35°C	27	26
T2R2	20°-35°C	27	25
T2R3	20°-35°C	29	25.5
Tiempo de retención 3 días (T3R1)	20°-35°C	16	28
T3R2	20°-35°C	30	29
T3R3	20°-35°C	30	28
Tiempo de retención 4 días (T4R1)	20°-35°C	12.5	12
T4R2	20°-35°C	12.5	14
T4R3	20°-35°C	29	23

Fuente: Elaboración propia (2017).

Al comparar las temperaturas de los diferentes tratamientos se puede observar en la figura que todos los tratamientos se encuentran por debajo de los valores máximos permisibles que establece la Norma, que es de 20°-35°C, con un leve aumento de la temperatura en el tratamiento de tres días con repetición uno, y en el tratamiento de cuatro días repetición dos; el aumento de las temperaturas se podría deber al alto contenido de contaminantes que se encuentran interactuando dentro de los humedales donde no existe aireación y el clima del lugar puede incidir en el aumento o disminución de las temperaturas.

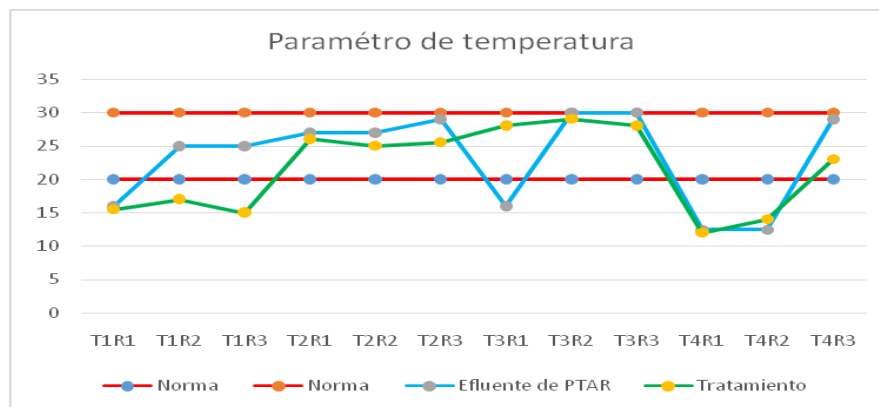


Figura 25. Temperaturas en los diferentes tratamientos aplicados.

Ruiz (2005) menciona que la temperatura del agua bajo el sistema hidropónico de tratamiento con vetiver, las temperaturas son de 30.6° C, es decir, son menor en relación a un sistema sin vetiver (31.7° C), lo que indica que las plantas generan un microclima que mejora la temperatura. 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.

4.6 Resultados de Coliformes Fecales y Totales

La determinación de coliformes fecales (expresados en el número de muestra más probable por mililitros) no presento ninguna disminución en los tratamientos sobre los tiempos de retención de uno, dos, tres y cuatro días, de las aguas residuales en los humedales con pasto vetiver en comparación con el testigo.

Para el tratamiento con tiempo de retención de tres días en la repetición dos y tres, resulto que el testigo es menor en 350 NMP/ml que el tratamiento a 1,600 NMP/ml. Cabe mencionar, que a pesar de los resultados obtenidos, los valores se encuentran por debajo de lo que establece la Norma que es 2,000 NMP/100 ml.

Cuadro 14. Resultados de coliformes fecales del efluente de los humedales y de la PTAR según análisis de laboratorio.

Tratamiento y repetición	Norma (NMP/ml)	Efluente de PTAR Testigo T0 (NMP/ml)	Efluente del humedal (NMP/ml)
Tiempo de retención 1 día (T1R1)	2,000	1,600.00	1,600.00
T1R2	2,000	1,600.00	1,600.00
T1R3	2,000	1,600.00	1,600.00
Tiempo de retención 2 días (T2R1)	2,000	1,600.00	1,600.00
T2R2	2,000	1,600.00	1,600.00
T2R3	2,000	1,600.00	1,600.00
Tiempo de retención 3 días (T3R1)	2,000	1,600.00	1,600.00
T3R2	2,000	350.00	1,600.00
T3R3	2,000	350.00	1,600.00
Tiempo de retención 4 días (T4R1)	2,000	1,600.00	1,600.00
T4R2	2,000	1,600.00	1,600.00
T4R3	2,000	1,600.00	1,600.00

Fuente: Elaboración propia (2017).

Según Truong et al. (2003), la utilización de vetiver (*Vetiveria zizanoides L.*) es muy eficiente para tratar aguas residuales domésticas e industriales, bajando los Coliformes fecales $\geq 1,600$ org /100 mL a 900 org /100 mL (44%); y E. Coli de ≥ 1.600 org/100 mL a 140 org/100 mL (91%).

Arcana et al. (2010) menciona que disminuyen los niveles de bacterias debido al Sistema de Humedal Modular, los resultados son muy promisorios con una reducción de 84% en coliformes fecales y 70% para E. coli. En la medida que el sistema madura, se espera que el nivel de bacterias sea reducido aún más.

Para los coliformes totales los valores son similares tanto para el testigo como los tratamientos con todas sus repeticiones de 1,600 NMP/ml. Para todos los tratamientos no se notó ninguna diferencia en cuanto a la disminución, pero ambos valores se encuentran por debajo a lo establecido en la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO, que establece el valor máximo permisible para Coliformes Totales de 10,000 NMP/100 ml.

Cuadro 15. Resultados de coliformes totales del efluente de los humedales y de la PTAR según análisis de laboratorio.

Tratamiento y repetición	Norma (NMP/mL)	Efluente de PTAR Testigo T0 (NMP/ml)	Efluente del humedal (NMP/ml)
Tiempo de retención 1 día (T1R1)	10,000	1,600.00	1,600.00
T1R2	10,000	1,600.00	1,600.00
T1R3	10,000	1,600.00	1,600.00
Tiempo de retención 2 días (T2R1)	10,000	1,600.00	1,600.00
T2R2	10,000	1,600.00	1,600.00
T2R3	10,000	1,600.00	1,600.00
Tiempo de retención 3 días (T3R1)	10,000	1,600.00	1,600.00
T3R2	10,000	1,600.00	1,600.00
T3R3	10,000	1,600.00	1,600.00
Tiempo de retención 4 días (T4R1)	10,000	1,600.00	1,600.00
T4R2	10,000	1,600.00	1,600.00
T4R3	10,000	1,600.00	1,600.00

Fuente: Elaboración propia (2017).

4.7 Resultados de Demanda Bioquímica de Oxígeno

En el cuadro 16 se muestran los resultados de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) de los efluentes de los humedales y de la Planta de Tratamiento.

En el primer tratamiento con repeticiones T1R1, T1R2 y T1R3, se reportaron cuantificaciones de 15.6, 78 y 138 mg/L, respectivamente. Este tratamiento tuvo resultados muy variables ya que la repetición T1R1 aumento de 12.12 mg/L que fue el testigo a 15.6, para la repetición T1R2 se tuvo que aumento de 4.84 a 78 mg/L y para la repetición T1R3 se tuvo una reducción de 4.84 a 138 mg/L.

Para las repeticiones del tratamiento 2, T2R1, T2R2 y T2R3, se cuantificaron valores de 27 mg/L, 15 mg/L y 435 mg/L, respectivamente. Para la repetición T2R2 aumentó de 4.81 a 15 mg/L y para T2R3 aumentó de 7.74 a 435 mg/L.

En el tratamiento 3 se tuvieron las repeticiones T3R1, T3R2 y T3R3, se reportaron valores de 6.57, 6 y 64 mg/L. La repetición T3R1 disminuyó de 12.12 a 6.57 mg/L y para la repetición T3R3 se tiene que aumento de 26.1 a 64 mg/L. Las repeticiones T3R1 y T3R2 mostraron disminución de DBO₅ de 12.12 a 6.57 y 26.1 a 6 mg/L, respectivamente.

Para el caso del tratamiento 4, se tienen los resultados de las repeticiones T4R1, T4R2, T4R3, con valores de 142, 198 y 258 mg/L, respectivamente. Para las repeticiones T4R1 y T4R2 se tuvo un alza en el valor de 12.24 a 142 mg/L y a 198 mg/L, respectivamente. Para la repetición T4R3 también se incrementó la DBO₅ de 7.74 a 258 mg/L.

Para las repeticiones T2R1, T2R2, T1R3, T1R1, T3R2 y T3R1, las cuantificaciones de DBO₅ están por debajo del límite máximo permitido por la Norma que es de 60 mg/L. Al observar el cuadro 16 se puede notar que los efluentes de la Planta de Tratamiento cumplen en todas las muestras con el límite máximo permitido por la Norma.

En la mayoría de repeticiones de los 4 tiempos de retención se da un aumento del contenido de la DBO₅, al pasar el agua por los humedales, debido a condiciones anaeróbicas que puedan generarse dentro del humedal, ya que el flujo del agua por ser un caudal muy pequeño (cuadro 5) no es continuo y provoca un estancamiento del agua. También, es

posible que la lámina de agua no sea alcanzada completamente por las raíces, debido al mediano desarrollo de las raíces y entonces el efecto fitodepurador no pueda ejercerse de manera adecuada.

El Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales 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.

Njau y Mlay (2003) dicen que las plantas acuáticas juegan un papel muy importante en el apoyo de procesos de remoción de DBO_5 , estas actúan como bombas de oxígeno atmosférico, para luego descomponer microorganismos estando en contacto completo con el agua.

Scavo et al, (2004) reportó eficiencias de remoción de DBO_5 de 96,86% en un sistema con pasto vetiver con las raíces directamente en contacto con el agua a tratar y un tiempo de residencia de 20 días.

Mongkon et al, (2003) en su trabajo sobre el manejo primario de aguas residuales de una comunidad utilizando dos tipos de pasto vetiver, determinó que el pasto vetiver tiene alto potencial en remediación de aguas residuales, ya que los valores de DBO_5 resultaron más bajos que los valores de DBO_5 del tratamiento control sin pasto vetiver.

Cuadro 16. Demanda Bioquímica de Oxígeno de los efluentes de los humedales y de la Planta de tratamiento.

Tratamiento y repetición	Norma (mg/L)	Efluente de PTAR Testigo T0 (mg/L)	Efluente de humedal (mg/L)
Tiempo de retención 1 día (T1R1)	60	12.12	15.6
T1R2	60	4.84	78
T1R3	60	4.84	138
Tiempo de retención 2 días (T2R1)	60	4.81	27
T2R2	60	4.81	15
T2R3	60	7.74	435
Tiempo de retención 3 días (T3R1)	60	12.12	6.57
T3R2	60	26.1	6
T3R3	60	26.1	64
Tiempo de retención 4 días (T4R1)	60	12.24	142
T4R2	60	12.24	198
T4R3	60	7.74	258

Fuente: Elaboración propia (2017).

4.8 Resultados de la Demanda Química de Oxígeno

En el cuadro 17 se muestran los resultados de Demanda Química de Oxígeno de los efluentes de los humedales y de la Planta de Tratamiento. En el tratamiento T1R1, T1R2 y T1R3 se reportaron cuantificaciones de 271, 404 y 401 mg/L, respectivamente. En las repeticiones T1R2 y T1R3 la DQO se incrementó de 5 a 404 mg/L y a 401 mg/L, respectivamente. Para la repetición T1R1 se tuvo una disminución de 295 a 271 mg/L, por tanto ninguna repetición de este tratamiento cumple con el límite máximo permisible de la Norma que es de 150 mg/L.

En el tratamiento 2, para las repeticiones T2R1, T2R2 y T2R3 se cuantificaron valores de 32, 35 y 3 mg/L. En las repeticiones T2R1 y T2R2 se redujo el contenido de 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 de este tratamiento están por debajo del límite permitido por la Norma que es de 150 mg/L, al igual que todos los muestreos del testigo o efluente de la Planta de Tratamiento.

En las repeticiones del tratamiento 3 que son T3R1, T3R2 y T3R3, se tienen valores de 267, 43.5 y 78.5 mg/L, respectivamente. Para las repeticiones T3R2 y T3R3 se reportó

disminución del contenido de DQO de 128.5 mg/L a 43.5 mg/L y a 78.5 mg/L, respectivamente. Para la repetición T3R1 disminuyó su contenido de DQO de 295 mg/L a 267 mg/L. Las repeticiones T3R2 y T3R3 están por debajo del límite establecido por la Norma de 150 mg/L, al igual que el testigo (efluente de la Planta de Tratamiento), aunque es mayor en contenido de DQO, está situado debajo de la Norma.

En el tratamiento 4 se tienen repeticiones T4R1, T4R2 y T4R3, con valores de 178.5, 208.5 y 3.1 mg/L, respectivamente. En las repeticiones T4R1 y T4R2 se obtuvieron reducciones significativas de 3,553.5 mg/L hasta 178.5 mg/L y 208.5 mg/L respectivamente, para la repetición T4R3 disminuyó en 0.4 mg/L. En las repeticiones 1 y 2 se tuvo una notable reducción del contenido de DQO, aunque los valores no estén dentro del límite establecido por la Norma se debe prestar atención al efecto del humedal con pasto vetiver con este tratamiento (4 días de retención del agua).

Cuadro 17. 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 PTAR Testigo T0 (mg/L)	Efluente del humedal (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

Fuente: Elaboración propia (2017).

En el cuadro 18 se muestran porcentajes de remoción que se dieron en los humedales con pasto vetiver. El cuadro muestra que el porcentaje de remoción más eficiente (94.54%) se dio con el tratamiento 4 (tiempo de retención de 4 días), seguido por el tratamiento 2 que es de 52.28%.

Cuadro 18. Porcentajes de Remoción promedio de DQO.

Tratamiento	Porcentaje de remoción (%)
T1	
T2	52.28
T3	25.51
T4	94.54

Fuente: Elaboración propia (2017).

Scavo et al, (2004) en su investigación obtuvo valores porcentuales de remoción de DQO para un sistema de vetiver de 98.07% con un tiempo de residencia del agua de 20 días (este tiempo fue el mayor de sus tratamientos aplicados de 20, 15, 10 y 5 días), para valores que oscilaban entre 1,512.57 mg/L y 514.02 mg/L de contenido de DQO, lo que podría dar lugar a que a mayor tiempo de retención el porcentaje de remoción de DQO en sistemas con pasto vetiver aumenta.

Liao et al, (2003) realizó una investigación donde el pasto vetiver creció en aguas residuales de una explotación de porcinos con DQO 825 mg/L, y demostró que el pasto vetiver disminuyó este índice en un 64%, al comparar los resultados de este autor se tiene que los obtenidos en esta investigación por el tratamiento 4, son mejores con un porcentaje de remoción de 94.54% de DQO.

4.9 Resultados de Fósforo total

Para las repeticiones del tratamiento uno T1R1, T1R2, T1R3, se reportan valores de Fósforo total de 0.1 mg/L para cada repetición. En las repeticiones T1R2 y T1R3 se tuvo un aumento de 0.09 mg/L en el testigo a 0.1 mg/L. En la repetición T1R1 se aumentaron los valores del testigo de 0.03 mg/L a 0.1 mg/L.

Las repeticiones T2R1, T2R2 y T2R3 tuvieron contenidos de 0.045, 0.042 y 0.04 mg/L, respectivamente. En la repetición T2R1 el agua muestreada del testigo tuvo un valor de 0.05 mg/L, disminuyendo a 0.045 mg/L; en la repetición T2R2 se tuvo valor de 0.042 mg/L y un testigo de 0.05 mg/L, lo que indica una leve disminución en el contenido. En la repetición T2R3 resultó un valor de 0.04 mg/L y se tuvo un testigo de 0.006 mg/L, lo que muestra un aumento en el contenido de Fósforo Total.

Las repeticiones del tratamiento 3 fueron T3R1, T3R2 y T3R3 con valores de 0.07, 0.04 y 0.05 mg/L respectivamente. El contenido de la repetición T3R1 muestra un aumento al ser comparada con el testigo que corresponden a 0.0326 mg/L.

Para las repeticiones T4R1, T4R2 y T4R3 se tienen valores de 0.4, 0.03 y 0.07 mg/L, respectivamente. La repetición T4R1 tuvo un alza de 0.03 mg/L a 0.04 mg/L, la repetición T4R2 se mantuvo en 0.03 mg/L comparada con el testigo. En la repetición T4R3 se dio un aumento de 0.006 mg/L del agua del testigo hasta 0.07 mg/L.

Todas las repeticiones de los tratamientos cumplen con el nivel máximo permitido por la Norma, de igual manera el testigo o efluente de la Planta de Tratamiento, ya que 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.

Cuadro 19. Cuantificación de Fósforo total de los efluentes de los humedales y de la Planta de Tratamiento.

Tratamiento y repetición	Norma	Efluente de la PTAR Testigo T0 (mg/L)	Efluente del humedal (mg/L)
Tiempo de retención 1 día (T1R1)	50	0.0326	0.1
T1R2	50	0.09	0.1
T1R3	50	0.09	0.1
Tiempo de retención 2 días (T2R1)	50	0.05	0.045
T2R2	50	0.05	0.042
T2R3	50	0.006	0.04
Tiempo de retención 3 días (T3R1)	50	0.0326	0.07
T3R2	50	0.05	0.04
T3R3	50	0.05	0.05
Tiempo de retención 4 días (T4R1)	50	0.03	0.04
T4R2	50	0.03	0.03
T4R3	50	0.006	0.07

Fuente: Elaboración propia (2017).

Truong et al, (2003) reporto que el pasto vetiver tiene una capacidad potencial de exportar 198 kg/ha/año de fósforo, pero puede crecer con suplencias de hasta 250 kg de fósforo

/ha/año, que lo convierte en una planta de alta capacidad para eliminar el fósforo de aguas contaminadas.

4.10 Resultados de Nitrógeno Total

En las repeticiones T1R1, T1R2 y T1R3 se obtuvieron valores de 71.30, 4.87 y 10.62 mg/L, respectivamente. En la repetición T1R1 se tuvo 71.30 mg/L y un testigo de 8.41 mg/L. Únicamente la repetición T1R2 reduce el Nitrógeno Total de 9.75 mg/L a 4.87 mg/L.

En las repeticiones T2R1, T2R2 y T2R3 se tuvieron contenidos de 2.21, 38.1 y 2 mg/L, respectivamente. En la repetición T2R1 se tuvo 2.21 mg/L y el agua muestreada como testigo tuvo cuantificaciones de 22.47 mg/L, notándose una disminución del contenido de Nitrógeno Total como efecto de los humedales con pasto vetiver. La repetición T2R2 tuvo valores de 38.1 mg/L y se comparó con el testigo de 22.47 mg/L, lo que demuestra un ascenso en el valor del Nitrógeno Total. La repetición T2R3 tuvo una cuantificación de 2 mg/L y un testigo de 24.22 mg/L, teniéndose una reducción en el contenido de Nitrógeno Total.

Las repeticiones del tratamiento tres T3R1, T3R2 y T3R3, tienen valores de 10.62, 1.32 y 2.21 mg/L, respectivamente. Las repeticiones T3R2 y T3R3 al compararlas con el testigo (23.91 mg/L) muestran una disminución hasta de 1.32 mg/L y 2.21 mg/L, respectivamente. La repetición T3R1 muestra un aumento de 8.41 mg/L a 10.42 mg/L.

Todas las repeticiones del tratamiento 4 mostraron disminución en el contenido de Nitrito Total, mejorando la calidad del efluente de la Planta de tratamiento en cuanto al parámetro Nitrógeno Total.

En el cuadro 20 se puede ver que únicamente la repetición T1R1 con valores de 71.30 mg/L sobrepasa el nivel máximo permitido por la Norma que establece 50 mg/L. El tratamiento 4 es el que mejor se comporta en las tres repeticiones.

Cuadro 20. Cuantificación de Nitrógeno total de los efluentes de los humedales y de la Planta de Tratamiento.

Tratamiento y repetición	Norma	Efluente de la PTAR Testigo T0 (mg/L)	Contenido de Nitrógeno total en el humedal (mg/L)
Tiempo de retención 1 día (T1R1)	50	8.41	71.30
T1R2	50	9.75	4.87
T1R3	50	9.75	10.62
Tiempo de retención 2 días (T2R1)	50	22.47	2.21
T2R2	50	22.47	38.1
T2R3	50	24.22	2.00
Tiempo de retención 3 días (T3R1)	50	8.41	10.62
T3R2	50	23.91	1.32
T3R3	50	23.91	2.21
Tiempo de retención 4 días (T4R1)	50	31.92	1.81
T4R2	50	31.92	2.47
T4R3	50	24.22	1.69

Fuente: Elaboración propia (2017).

Según el cuadro 21 los tratamientos con mayor porcentaje de remoción de nitrógeno fueron el T3 y T4 con 74.86% y 93.13% respectivamente.

Truong *et al*, (2003) demostraron que el vetiver en condiciones hidropónicas es capaz de bajar el nitrógeno total de 100 mgL⁻¹ a 6 mgL⁻¹ (94% de eficiencia), también le adjudican una capacidad potencial de exportar hasta 1,920 kg/ha/año de nitrógeno, pero puede crecer con suplencias hasta de 6,000 kg/ha/año de nitrógeno.

Cuadro 21. Porcentajes de remoción promedio de Nitratos.

Tratamiento	Porcentaje de remoción (%)
T1	-157.3
T2	38.82
T3	74.86
T4	93.13

Fuente: Elaboración propia (2017).

5. Análisis Estadístico

Para determinar el efecto de los diferentes tratamientos en la disminución del valor máximo admisible para los parámetros establecidos por la Norma Salvadoreña Obligatoria

NSO.13.49.01:09 “Aguas. Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor”: Coliformes Fecales, Coliformes Totales, DQO, DBO₅, Nitrógeno total, Fósforo total, Temperatura, pH, Aceites y Grasas, el contenido de cada parámetro fue comparado con la Norma; y también se realizó una Prueba de “T” 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.

No se hizo un Análisis de varianza a prueba de experimento ya que no se alcanzó el número de réplicas por tratamiento. La variabilidad de los datos es muy alta, aunque si poseen iguales condiciones todas las muestras.

Por motivos prácticos en el uso del programa Infostat al testigo se le nombró como tratamiento 5.

A todos los datos de cada parámetro se les realizó la prueba de Shapiro-wilks, para constatar que los datos cumplieran con el supuesto de Normalidad antes de proceder con la Prueba T.

5.1 Prueba T para Aceites y grasas

Se realizó la prueba de Shapiro-Wilks a los tratamientos para determinar si se comportaban de forma normal, comparando el nivel de significación que es de p-valor menor de 0.05. Se tienen los siguientes resultados (cuadro 22).

Cuadro 22. Prueba de Shapiro-Wilks para datos aceites y grasas.

Tratamiento	Media	P valor
1	3.17	0.8687
2	2.97	0.4628
3	3.30	0.3614
4	4.60	0.8057
5	3.18	0.0195

Fuente: Elaboración propia, programa Infostat (2017).

Al realizar la prueba de normalidad Shapiro-Wilks a los cuatro tratamientos y al testigo (5), se tiene que los tratamientos 1, 2, 3 y 4 provienen de una distribución normal, ya que el P-valor para estos tratamientos es mayor a 0.05. Al contrario el testigo, se observa que el P-valor es 0.0195, lo que significa que no se comporta de manera normal.

Para la prueba T se tomaron los tratamientos con tiempos de retención de uno, dos, tres y cuatro días. Se compararon para verificar si existe diferencia entre la implementación de cada uno de ellos en los humedales establecidos con pasto vetiver (cuadro 23).

Hipótesis nula (Ho): los tiempos de retención no ejercen un efecto significativo en el parámetro de aceites y grasas.

Hipótesis alterna (Hi): los tiempos de retención si ejercen un efecto significativo en el parámetro de aceites y grasas.

Cuadro 23. Prueba T para muestras independientes para aceites y grasas.

Tratamiento	Media trata. 1	Media trata. 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

Fuente: Elaboración propia, programa Infostat (2017).

Según los resultados estadísticos del cuadro 23, la prueba T muestra que los cuatro 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 3 (3 días de retención), sin embargo, todos los tratamientos obtuvieron medias dentro del límite máximo permitido por la Norma.

5.2 Prueba T para pH

Con la información correspondiente a los tratamientos, se comparó si los valores obtenidos por los análisis de laboratorio provienen de una distribución normal o no. Realizando la prueba de Shapiro-wilks se tienen los valores siguientes (cuadro 24).

Cuadro 24. Prueba de Shapiro-Wilks.

Tratamiento	Media	P valor
1	7.26	0.1839
2	7.22	0.2190
3	7.15	0.7090
4	7.06	0.0434
5	7.88	0.9622

Fuente: Elaboración propia, programa Infostat (2017).

Los datos del tratamiento 4 no provienen de una distribución normal ya que el p-valor es menor a 0.05. Por tanto a este tratamiento no se le pudo realizar la prueba de T, para no perder el uso de estos datos se les aplicó la prueba de medianas de Kolgomorov-smirnov contra los demás tratamientos.

Cuadro 25. Prueba de kolgomorov-smirnov para los tratamientos 4 y 5.

Tratamiento	Mediana 1	Mediana	P valor
1-4	7.36	7.18	< 0.20
2-4	7.24	7.18	< 0.20
3-4	7.13	7.18	< 0.20
5-4	7.18	7.90	<0.05

Fuente: Elaboración propia, programa Infostat (2017).

En el cuadro 25 se muestra que al aplicarle al tratamiento 4 la prueba Kolgomorov-smirnov contra los demás tratamientos, se tiene que únicamente entre el tratamiento 5 y 4 resulta un p-valor menor a 0.05 lo cual indica que estadísticamente si existe un efecto significativo, de los dos tratamientos el que mejor mediana presenta es el tratamiento 3 con una mediana de 7.15, todas las medianas están dentro de los límites establecidos por la Norma.

En el cuadro 26 se muestran los resultados al realizar la prueba de T con los tratamientos que si cumplen con el supuesto de Normalidad. Se tiene que de las pruebas 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 valor de pH. El mejor tratamiento es el 3 (3 días de retención) con una media de 7.15 y todas las medias de los tratamientos a los que se les realizó la prueba de T están dentro del límite que establece la Norma.

Cuadro 26. Prueba T para muestras independientes para pH.

Tratamiento	Media trata. 1	Media trata. 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

Fuente: Elaboración propia, programa Infostat (2017).

5.3 Prueba T para Temperatura

En el cuadro 27 se presentan los valores que se obtienen al realizar la prueba de normalidad Shapiro-Wilks a los cuatro tratamientos y al testigo (5), se tiene que los tratamientos 1, 2, 4 y 5 provienen de una distribución normal ya que el P-valor para ambos tratamientos es mayor a 0.05. En el tratamiento 3 el P-valor es 0.0001, lo que significa que los valores de temperatura para el tiempo de retención de 3 días no se comportan de manera normal.

Cuadro 27. Prueba de Shapiro-Wilks.

Tratamiento	Media	P valor
1	15.83	0.4628
2	25.50	>0.9999
3	28.33	<0.0001
4	16.33	0.3245
5	23.25	0.1666

Fuente: Elaboración propia, programa Infostat (2017).

A los valores del tratamiento 3 por no comportarse bajo el supuesto de normalidad y para no perder el uso de sus datos se les aplicó una prueba de mediana Kolmogorov-smirnov contra los demás tratamientos. En la significancia estadística de la prueba de Kolmogorov-Smirnov p-valor es 0.10 para los tratamientos (1-3), (2-3), (4-3) y 0.20 para los tratamientos (5-3). Debido a que la probabilidad para los tratamientos 1-3, 2-3, 4-3 y 5-3 está por encima de 0.05, lo que significa que se acepta la hipótesis nula que los tiempos de retención estadísticamente no ejercen un efecto significativo en la temperatura (cuadro 28)

Cuadro 28. Prueba de Kolmogorov Smirnov.

Tratamiento	Mediana 1	Mediana	P valor
1-3	15.50	28.00	<0.10
2-3	25.50	28.00	<0.10
4-3	28.00	14.00	<0.10
5-3	28.00	26.00	<0.20

Fuente: Elaboración propia, programa Infostat (2017).

Se realizó la prueba T a los tratamientos uno, dos, cuatro días y el testigo (5), se compararon para verificar si existía diferencia entre la implementación de cada uno de ellos en los humedales establecidos con pasto vetiver (cuadro 29).

Cuadro 29. Prueba T para muestras independientes para temperatura.

Tratamiento	Media trata. 1	Media trata. 2	P valor
1-2	15.83	25.50	0.0001
1-4	15.83	16.33	0.8913
1-5	15.83	23.25	0.0579
2-4	25.50	16.33	0.1142
2-5	25.50	23.25	0.4842
4-5	16.33	23.25	0.1988

Fuente: Elaboración propia, programa Infostat (2017).

Según los resultados estadísticos del cuadro 29 la prueba T demuestra que los tratamientos (1-2) y aplicados a las aguas residuales con pasto vetiver poseen un P-valor menor a 0.05, entonces se tiene que los tiempos de retención estadísticamente si ejercen un efecto significativo en las temperaturas. De ambos tratamientos el que posee una mejor media es el tratamiento 1 con un valor de 15.83, de igual manera todas las medias están dentro del límite máximo que permite la Norma.

5.4 Prueba T para Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

En el cuadro 30 se muestran las medias y el p valor de los tratamientos. Al hacerles la prueba de Normalidad Shapiro-wilks a todos los datos de los tratamientos, esta prueba dice que si el p valor es mayor a 0.05 los datos se comportan como una normal y en caso de que tengan un p valor menor a 0.05, los datos no se comportan como una normal. El p valor del tratamiento 3 está por debajo de 0.05, lo que significa que sus datos no se comportan como normales. Para no dejar de comparar los datos del tratamiento 3 con los demás tratamientos, entonces se comparó por medio de una prueba de comparación de medianas llamada Kolmogorov-Smirnov (cuadro 31).

Cuadro 30. Prueba de Shapiro-wilks a cada tratamiento.

Tratamiento	Media	P valor
1	31.35	0.3531
2	150.19	0.0549
3	66.11	0.0488
4	303	0.7929
5	9.31	0.3138

Fuente: Elaboración propia (2017).

Para comparar el tratamiento 3 con los demás tratamientos se realizó la prueba Kolmogorov-Smirnov, de comparación de dos poblaciones (cuadro 30). La hipótesis nula de la prueba de Kolmogorov-smirnov dice que si p valor es mayor a 0.05, se acepta que ningún tratamiento tiene significancia estadística en el efecto del contenido del parámetro DBO_5 y si el p valor es menor a 0.05, entonces se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna que dice que si hay significancia en el efecto del contenido de la DBO_5

Cuadro 31. Prueba de Kolmogorov-Smirnov para el tratamiento 3 contra los demás tratamientos.

Tratamiento 1	Tratamiento 2	Mediana 1	Mediana	P valor
1	3	15.6	6	0.20
2	3	15	6	0.20
3	4	6	297	0.10
3	5	6	6.29	0.20

Fuente: Elaboración propia (2017).

Según el cuadro 31, ninguno de los tratamientos comparados con el tratamiento 3 (al hacer la prueba de medianas de Kolmogorov-smirnov resulta con un P valor menor a 0,05 y se acepta la hipótesis nula de que ningún tratamiento tiene significancia estadística en el efecto del contenido de DBO_5 .

En el cuadro 32 se presentan los tratamientos a comparar mediante la prueba de T, para conocer si existe diferencia en la disminución de DBO_5 de las aguas residuales de la Planta de Tratamiento. Se eliminó el tratamiento 3 debido a que no cumple el supuesto de normalidad, ya que al realizar la prueba de Shapiro-wilks indica que su P valor es menor a 0.05, por tanto, no proviene de una distribución normal (cuadro 30).

Cuadro 32. Medias de tratamientos y su p valor de la Prueba de T.

Tratamiento 1	Tratamiento 2	Media trata. 1	Media trata. 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).

El cuadro 32 muestra que solamente dos pruebas tienen un p valor menor que 0.05, estos son los tratamientos 1 y 4 con un p valor de 0.0018 y los tratamientos 4 y 5 con un p valor de 0.009. Entonces se rechaza la Hipótesis nula (H_0) y se acepta la Hipótesis alterna (H_i), que para este caso los tratamientos estadísticamente si ejercen un efecto significativo en el parámetro DBO_5 . De estos tratamientos 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 la cuantificación del parámetro DBO_5 , ninguno de los tiempos de retención aplicados al agua efluente de la Planta de Tratamiento es mejor que el testigo.

5.5 Prueba T para Demanda Bioquímica de Oxígeno (DQO)

El cuadro 33 muestra las medias y el p valor de los tratamientos al hacerles la prueba de normalidad Shapiro-wilks a todos los datos, esta prueba dice que si el p valor es mayor a 0.05 los datos se comportan como una normal y en caso de que tengan un p valor menor a 0.05 los datos no se comportan como una normal. Los valores del tratamiento 1 y 5 no se comportan como una normal debido a que su p valor 0.037 y 0.0002 está por debajo de 0.05.

Cuadro 33. Prueba de Shapiro-wilks a cada tratamiento para DQO.

Tratamiento	Media	P valor
1	358.67	0.0370
2	23.33	0.1601
3	129.67	0.2779
4	130.03	0.2572
5	674.92	0.0002

Fuente: Elaboración propia (2017).

Los tratamientos 1 y 5 no cumplieron con el supuesto de Normalidad, que se verificó mediante la prueba de Shapiro-wilks (cuadro 33), a los cuales se les realizó una prueba de comparación de medianas de Kolmogorov-smirnov contra los demás tratamientos, para determinar si estos producen un efecto significativo en la disminución de la DQO de las aguas residuales de la Planta de Tratamiento (cuadro 34).

A los valores de los tratamientos 1 y 5 se les realizó una prueba de comparación de medianas de Kolmogorov-smirnov contra los demás tratamientos, para determinar si estos producen un efecto significativo en la disminución de la DQO de las aguas residuales de la Planta de Tratamiento (cuadro 34).

En el cuadro 34 se muestran los resultados de la prueba de Kolmogorov-smirnov aplicada a los tratamientos que no cumplieron el supuesto de normalidad. Esta prueba permite realizar una comparación de medianas entre cada tratamiento. Se compararon los tratamientos 1 y 5 contra el resto en pruebas dos a dos.

Cuadro 34. Prueba de Kolmogorov-Smirnov para tratamientos 1 y 4 contra los demás tratamientos (DQO).

Tratamiento 1	Tratamiento 2	Mediana 1	Mediana	P valor
1	2	401	32	0.10
1	3	401	78.50	0.10
1	4	401	178.50	0.10
5	1	96.25	401.00	0.20
5	2	96.25	32	0.20
5	3	96.25	78.50	0.20
5	4	96.25	178.50	0.20

Fuente: Elaboración propia (2017).

Según el cuadro 34 ninguna prueba de Kolmogorov-smirnov es menor a 0.05, entonces estadísticamente no importa el tratamiento que se aplique al agua ninguno ejerce un efecto significativo en la disminución del contenido de la DQO de las aguas residuales de la Planta de Tratamiento.

Cuadro 35. Medias de tratamientos y su p valor de la Prueba de T (DQO).

Tratamiento 1	Tratamiento 2	Media trata. 1	Media trata. 2	P valor
2	3	23.33	129.67	0.2688
2	4	23.33	130.03	0.2417
3	4	129.67	130.03	0.9971

Fuente: Elaboración propia (2017).

Para esta prueba T se tienen dos hipótesis que son:

- Hipótesis nula (Ho): los tiempos de retención no ejercen un efecto significativo en el parámetro DQO.
- Hipótesis alterna (Hi): los tiempos de retención si ejercen un efecto significativo en el parámetro DQO.
- Se acepta la Ho si p valor es mayor que 0.05 y se rechaza si p valor es menor que 0.05 y se acepta la Hi.

En el cuadro 35 se demuestra que 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 estos tratamientos ejercen un efecto significativo en el parámetro DQO.

5.6 Prueba T para Nitrógeno Total

A los datos de todos los tratamientos se les hizo la prueba de Shapiro-wilks para verificar si se comportan como una normal, el único tratamiento que sus datos no se comportaron como una normal fue el tratamiento 2, a estos valores para no perderlos se les hizo una prueba de comparación de medianas Kolgomorov-smirnov contra los demás tratamientos, para constatar si existió efecto significativo en la disminución del contenido de Nitrógeno Total de las aguas residuales de la Planta de Tratamiento (cuadro 39).

Cuadro 36. Prueba Shapiro-wilks a cada tratamiento (Nitrógeno Total).

Tratamiento	Media	P valor
1	28.93	0,1496
2	14.10	0,0095
3	4,72	0,1672
4	1.99	0,2714
5	20.11	0,2977

Fuente: Elaboración propia (2017).

En el cuadro 36 se pueden ver las medias y el p valor de los tratamientos al hacerles la prueba de normalidad Shapiro-wilks a todos los datos, esta prueba dice que si el p valor es mayor a 0.05 los datos se comportan como una normal y en caso de que tengan un p valor menor a 0.05 los datos no se comportan como una normal. En el cuadro se observa que solo los datos del tratamiento 2 no se comportan como una normal debido a que su p valor de 0,0095 está por debajo de 0.05, a estos datos se les realizo una prueba de comparación de

medias Kolmogorov-smirnov contra los demás tratamientos, para determinar si estos producen estadísticamente un efecto significativo en la disminución del Nitrógeno Total de las aguas residuales de la Planta de Tratamiento de San Luis Talpa (cuadro 37).

Cuadro 37. Prueba de Kolmogorov-Smirnov para el tratamiento 2 contra los demás tratamientos para Nitrógeno Total.

Tratamiento 1	Tratamiento 2	Mediana 1	Mediana	P valor
2	1	2,21	10,62	0.20
2	3	2,21	2,21	0.20
2	4	2.21	1.81	0.20
2	5	2.21	23.19	0.20

Fuente: Elaboración propia (2017).

En el cuadro 37 se muestran los resultados de la prueba de Kolmogorov-smirnov aplicada a los tratamientos que no cumplieron el supuesto de normalidad. Esta prueba permite realizar una comparación de medianas entre cada tratamiento. Se comparó el tratamiento 2 contra el resto en pruebas dos a dos. Se observa que ninguna prueba dos a dos de Kolmogorov-smirnov es menor a 0.05. Estadísticamente “no importa el tiempo de retención que se le aplique al agua, ninguno ejerce un efecto significativo en la disminución del contenido del Nitrógeno Total de las aguas residuales de la Planta de Tratamiento”.

En el cuadro 38 se muestran los tratamientos que se compararon mediante la prueba T, con el objetivo de establecer si hay diferencias entre tratamientos en la disminución del Nitrógeno Total en las aguas residuales de la Planta de Tratamiento de San Luis Talpa.

Cuadro 38. Medias de tratamientos y su p valor de la Prueba T Nitrógeno Total.

Tratamiento 1	Tratamiento 2	Media trata. 1	Media trata. 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 el cuadro 38 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 3 y 5 es el tratamiento 3 con una menor media de 4.72 contra la del tratamiento 5 que es de 20.11.

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 entre el 4, y el 5 es el tratamiento 4 con una media de 1.99 contra la media del tratamiento 5 que fue de 20.11.

5.7 Prueba T para Fósforo Total

El cuadro 39 muestra las medias y el p valor de los tratamientos al hacerles la prueba de normalidad Shapiro-wilks a todos los datos, esta prueba dice que si el p valor es mayor a 0.05 los datos se comportan como una normal y en caso de que tengan un p valor menor a 0.05 los datos no se comportan como una normal. Los valores del tratamiento 1 no se comportan como una normal debido a que su p valor de 0,0001 está por debajo de 0.05.

Cuadro 39. Prueba de Shapiro-wilks a cada tratamiento Fósforo Total.

Tratamiento	Media	P valor
1	0.1	<0,0001
2	0.04	0,7806
3	0.05	0,6394
4	0.05	0,4628
5	0.04	0,8278

Fuente: Elaboración propia (2017).

A los valores del tratamiento 1 se les realizó una prueba de comparación de medianas Kolmogorov-smirnov contra los demás tratamientos, para determinar si este produce efecto significativo en la disminución del Fósforo Total de las aguas residuales de la Planta de Tratamiento de San Luis Talpa (cuadro 40).

Cuadro 40. Prueba de Kolmogorov-Smirnov para tratamientos 1 contra los demás tratamientos para Fósforo Total.

Tratamiento 1	Tratamiento 2	Mediana 1	Mediana	P valor
1	2	0,10	0,04	0.10
1	3	0,10	0,05	0.10
1	4	0,10	0,04	0.10
1	5	0,10	0,04	0.05

Fuente: Elaboración propia (2017).

En el cuadro 40 se muestran los resultados de la prueba de Kolmogorov-smirnov aplicada al tratamiento 1, ya que no cumplió el supuesto de normalidad ninguna prueba de Kolmogorov-smirnov es menor a 0.05. Estadísticamente no importa el tratamiento que se le aplique al agua, ya que ninguno ejerce un efecto significativo en la disminución del contenido del Fósforo Total de las aguas residuales de la Planta de Tratamiento de San Luis Talpa.

El cuadro 41 muestra que ninguna de las pruebas de T tiene un p valor menor que 0.05. Entonces se rechaza la Hipótesis nula y acepta la Hipótesis alterna que para este caso no importa el tratamiento que se le aplique al agua residual, ninguno ejerce un efecto sobre en la disminución del contenido de Fósforo Total.

Cuadro 41. Medias de tratamientos y su p valor de la Prueba T para Fósforo Total.

Tratamiento 1	Tratamiento 2	Media trata. 1	Media trata. 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	0,8530

Fuente: Elaboración propia (2017).

6. Crecimiento del pasto durante la investigación

Después del mes de adaptación de las macollas de pasto vetiver, estas se podaron a una altura de 0.80 m y durante 5 semanas se hicieron mediciones para conocer el crecimiento en altura durante el periodo. En el cuadro 43 se muestra la secuencia de las alturas alcanzadas por el pasto en cada semana, se tiene que desde 0.80 m a los que fue podado el pasto la primer semana este creció hasta una altura de 1.90 m al final de las 5 semanas. La ganancia efectiva en altura del pasto fue de 1.10 metros en 5 semanas.

Truong *et al*, (2003) menciona que en 6 meses el pasto vetiver plantado por esquejes alcanza 2 metros de alto en menos de seis meses.



Figura 26. Poda y medicion del pasto vetiver.

El Vetiver tiene tanto un rápido régimen de crecimiento así como una alta producción de biomasa, ambos factores importantes para determinar su gran potencial para la fitoremediación. El Vetiver es una planta C4 que posee un alto régimen fotosintético en condiciones de alta intensidad de luz y altas temperaturas, debido a que se incrementa la eficiencia del ciclo de la reducción fotosintética del carbono (Hatch 1987).

Cuadro 42. Secuencia de altura del pasto vetiver.

Fecha	Altura
25/5/2017 (semana 1)	80 cm
1/6/2017 (semana 2)	110 cm
8/6/2017 (semana 3)	130 cm
15/6/2017 (semana 4)	150 cm
22/6/2017 (semana 5)	180 cm
30/6/2017 (semana 6)	190 cm

Fuente: Elaboración propia (2017).

7. Conclusiones

Los humedales de flujo subsuperficial cultivados con pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) disminuyeron el contenido del parámetro Aceites y Grasas de las aguas residuales tratadas en la Planta de Tratamiento de San Luis Talpa, lo cual cumple con la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO.13.49.01:09 “Aguas. Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor” (NSO).

Los humedales de flujo sub superficial con pasto vetiver en los diferentes tratamientos disminuyeron el contenido de nitrógeno total y fosforo total de las aguas residuales tratadas en la Planta de Tratamiento de San Luis Talpa.

Todos los tratamientos implementados en esta investigación en los humedales de flujo subsuperficial cultivados con pasto vetiver disminuyeron el pH y temperatura de las aguas residuales tratadas en la Planta de Tratamiento de San Luis Talpa.

Los humedales de flujo subsuperficial cultivados con pasto vetiver no disminuyeron el contenido de los parámetros microbiológicos Coliformes Totales y Fecales de las aguas residuales tratadas en la Planta de Tratamiento de San Luis Talpa.

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”.

El mejor tratamiento en la disminución de los parámetros aceites y grasas, pH y temperatura es el Tratamiento 1 (T1) con un tiempo de retención de un día.

El mejor tratamiento en la disminución del parámetro Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) es el Tratamiento 3 (T3) con tiempo de retención de tres días.

El mejor tratamiento en la disminución de los parámetros Demanda Química de Oxígeno y Nitrógeno Total es el Tratamiento 4 (T4) con un tiempo de retención de cuatro días.

El mejor tratamiento en la disminución del parámetro Fosforo Total es el Tratamiento 2 (T2) con un tiempo de retención de dos días.

8. Recomendaciones

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

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

9. Bibliografía

Acosta Orellana, D. 2015. Determinación de la calidad del agua del río San Sebastián y su impacto en la salud y calidad de vida de los habitantes del caserío San Sebastián, municipio de Santa Rosa de Lima, departamento de La Unión, El Salvador. Tesis Maestría. Universidad de El Salvador. El Salvador. 156 p.

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

Artero, I; Quiusque, M. 2012. Desarrollo de un micro humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales de tipo ordinario. Tesis Licenciatura. San Salvador. UES. 141 p.

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.

Bonilla de Torres, BL. 2015. Diagnóstico de la calidad de los recursos hídricos y diseño de una propuesta para su manejo y sostenibilidad en las cuencas El Jute y San Antonio, La Libertad, El Salvador. Tesis Maestría. Universidad de El Salvador. El Salvador. 172 p.

Buckalew, O; Waite, L; Laprevote, J. 1998. Evaluación de Recursos de Agua de la Republica de El Salvador (en línea). Estados Unidos. Consultado 10 may. 2016. Disponible en http://forodelagua.org.sv/sites/default/files/documentos/2013/01/el_salvador_rrhh_ingenieros_us.pdf

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.

Carranza Estrada, FA. 2015. Evaluación de dos tecnologías artesanales para la remoción de plomo y arsénico en agua para consumo humano. Tesis Maestría. Universidad de El Salvador. El Salvador. 112 p.

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 ago. Disponible en: <http://www.centa.es/portfolio-items/manual-tecnologias-no-convencionales-la-depuracion-aguas-residuales/>

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

Cuéllar, N. 2001. La contaminación del agua en El Salvador: Desafíos y respuestas institucionales (en línea). No 42. El Salvador, FUSADES. Consultado 6 mar 2016. Disponible en http://www.prisma.org.sv/uploads/media/bol43_la_contaminacion_del_agua_en_ESV.pdf

Drinan, J; Spellman, FR. 2000. Manual del Agua Potable. Trad. AB Celma. Zaragoza, España. Editorial Acribia. 255 p.

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

Espigares, M; Pérez, JA. 1985. Aspectos sanitarios del estudio de las aguas. Universidad de Granada. Servicio de Publicaciones. Granada, España.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Italia). 2015. La FAO y los 17 objetivos de desarrollo sostenible (en línea). Consultado 12 mar. 2016. Disponible en <http://www.fao.org/documents/card/es/c/2d609d2f-9662-401d-b1fc-1a346e9bfac5/>

Faustino, J; Jiménez, F. 2000. Manejo de Cuencas Hidrográficas. CATIE. Turrialba, Costa Rica. s.p.

FUSADES (Fundación Salvadoreña para el Desarrollo Económico y Social, El Salvador). 2004. Informe de Desarrollo Económico y Social. 2004. El desafío rural: pobreza, vulnerabilidad, oportunidades. FUSADES. p. 250.

Hatch M.D. 1987. C4 photosynthesis: a unique blend of modified biochemistry, anatomy and ultrastructure. Biochimica et Biophysica Acta. 895, 81-106.

Liao X., L. Shiming, W. Yinbao, y W. Zhisan. 2003. Studies on the abilities of Vetiveria zizanioides and Cyperus alternifolius for pig farm wastewater treatment. Tercera conferencia internacional y exhibición. Vetiver y agua. Guangzhou, República Popular. China. p 186-193.

MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, El Salvador). 2015. Ríos Contaminados de El Salvador (en línea), El Salvador. Consultado 25 feb. 2016. Disponible en <http://www.elsalvadmipais.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 Republica de El Salvador. El Salvador. 110 p.

- Marín, AO; Osés, M. 2013. Operación y Mantenimiento de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales con el proceso de Lodos Activos (en línea). DOP. CEA Jalisco. México (en línea). Consultado 10 mar. 2016. Disponible en http://www.ceajalisco.gob.mx/publicaciones/pdf/plantas_tratam_tomo1.pdf
- Metcalf, L; Eddy, M. 1995. Ingeniería de Aguas Residuales. Capítulo 7, Tratamientos y depuración de las Aguas Residuales. p 450.
- Mongkon, T; Patcharee, P; Sultipong, P. 2003. Vetiver grass research: Primary management of wastewater from community. Tercera conferencia internacional y exhibición. Vetiver y agua. Guangzhou, República Popular China. p 128-139.
- NU (Naciones Unidas, Estados Unidos de Norteamérica). 2015. Desarrollo Sostenible, Objetivos de Desarrollo del Milenio (en línea). Consultado 12 mar. 2016. Disponible en http://www.un.org/es/millenniumgoals/pdf/2015/mdg-report-2015_spanish.pdf
- Njau, K; Mlay, H. 2003. Wastewater Treatment and other research initiatives with Vetiver grass. Tercera conferencia internacional y exhibición. Vetiver y agua. Guangzhou, República Popular. China. p 231-240.
- OMS (Organización Mundial para la Salud, Chile). 2006. Guías para la calidad del agua potable (en línea). Consultado 24 jul. 2013. Disponible en http://www.who.int/water_sanitation_health/dwg/gdwq3_es_full_lowres.pdf
- OPS (Organización Panamericana de la Salud, El Salvador). 2000. Evaluación de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento en las Américas, El Salvador. Informe Analítico (en línea). El Salvador. Consultado 25 Feb. 2016. Disponible en <http://www.bvsde.ops-oms.org/eswww/eva2000/Salvador/informe.html>

Ordon M; Reyes, JC; Okum; D A. 1973. Purificación de aguas y tratamientos y remoción de aguas residuales, Editorial limusa, primera edición (en línea). Consultado 13 oc. 2017. Disponible en <https://www.abebooks.com/PURIFICACION-AGUAS-TRATAMIENTO-REMOCION-RESIDUALES-Gordon/4693497649/bd>

PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Costa Rica). 2000. América Latina y el Caribe. Perspectivas del Medio Ambiente. GEO-ALC del PNUMA (Oficina Regional para América Latina y el Caribe). Costa Rica. 144 p.

PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Costa Rica). 2001. Las Aguas Residuales municipales como fuentes terrestres de contaminación de la Zona Marino-Costera en la Región de América Latina y el Caribe. 33 p.

Roldan, GA. 2003. Bioindicación de la calidad del agua de Colombia. Ciencia y tecnología. Propuesta para el uso del método BMWP/Col. Editorial Universidad de Antioquia. Colombia. p. 1–9.

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). Consultado 10 oc. 2017. Disponible en http://www.vetiver.org/LAICV2F/2%20Environmental%20Protection/E6Yasmin_PpS.pdf

Romero Rojas, JA. 1999. Calidad del agua. 2da edición. Alfaomega. México. 134 p.

SNET (Servicio Nacional de Estudios Territoriales, El Salvador). 2010. Informe de la Calidad de Agua de los ríos de El Salvador (en línea). El Salvador. Consultado 31 may. 2016. Disponible en <http://www.snet.gob.sv/ver/hidrologia/monitoreo.../calidad...agua/calidad+de+agua>

Sierra, CA. 2011. Calidad del agua, evaluación y diagnóstico. Ed. LD López. Bogotá, Colombia. Digiprint. 457 p.

Scavo, MP; Rodríguez, OS; Luque, O. (2004). Estudio de un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Complementario con Pasto Vetiver, *Vetiveria zizanioides* L., Provenientes de una Planta de Gaseosas, en Villa de Cura, Estado Aragua. Venezuela (en línea). Consultado 12 oc. 2017. Disponible en <http://www.vetiver.org/ICV4-ppt/BA17-PP.pdf>

Seoanez Calvo, M. 1995. Aguas residuales urbanas: Tratamientos naturales de bajo costo y aprovechamiento (en línea). Consultado 12 oc. 2017. Disponible en <http://www2.cbm.uam.es/~jalopez/Personal/SeminariosVarios/ERARtexto.htm>

Tebbutt, TH. 2002. Fundamentos de control de calidad del agua. Trad. R Arriola. 3 ed. México. Limusa. 239 p

Tamayo, GY; Luque, O; Rodríguez, O; Silva, O; Arcaná, E. 2010. Boletín Vetiver (en línea). Venezuela. Consultado 25 de oct 2017. Disponible en http://www.vetiver.org/LAVN_BOLETIN%20VETIVER%2015.pdf



Truong, P; Truong, S; Smeal, C. 2003. Application of the Vetiver System in Computer Modelling for Industrial Wastewater Disposal. The Third International Conference on Vetiver, Guangzhou, China, 6-9 October 2003

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 ago. 2016. Disponible en http://www.vetiver.org/COR-s_Art.%20Completo_SV_II.Agua.df

WHO (World Health Organization, El Salvador). 2003. Informe sobre la salud en el mundo (en línea). Europa. Consultado 23 may. 2016. Disponible en <http://www.who.int/whr/2003/es/>

10. Anexos

Anexo 1. Resultados de los análisis de afluentes de la Planta de Tratamiento para el mes de febrero.

LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD		CODIGO: P G - 28 F 2		
REGISTRO		N° LC 171303		
NOMBRE: INFORME DE ENSAYO DE AGUA RESIDUALES		PAGINA: 1 de 1		
Código de Muestra: 8130101		Identificación de Muestra: LC171303		
Cliente: SANEAMIENTO, REGION CENTRAL		Fecha de Recepcion: 27-02-2017 Hora: 13:35		
Dirección: PTARO SAN LUIS TALPA, LA PAZ		Fecha de Análisis: 27-02-2017 Hora: 14:12		
Muestreador: HECTOR CAÑAS		Tipo de Muestra Analizada:		
Punto de Muestreo: AFLUENTE DE PLANTA		Parametros de acuerdo a NSO 13.07.01.04		
Plan de Muestreo: Puntual		ORDINARIO		
Fecha de Muestreo: 27-02-2017 Hora: 10:20				
Párametros de Campo	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permissible	Método
Temperatura de Muestra	27.5	°C.	20 - 35 °C La temperatura del agua descargada al cuerpo receptor no podrá alterar ± 5°C con respecto al cuerpo hídrico receptor	2550 Laboratory and Field, Method APHA
Cloro Residual	-	mg/L	-----	4500- Cl G DPD Colorimetric, Method APHA
RESULTADOS ANALITICOS				
Párametros de Laboratorio	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permissible	Método
DQO Total *	832.00	mg/L	150	5220 C Closed Reflux, Trinitroic, Method APHA
DBO Total *	-	mg/L	60	5210 B 5-Day BOD Test, Method APHA
Sólidos Sedimentables *	9.0	mL/L	1	2540 F Settleable Solid, Method APHA
Sólidos Suspendidos Totales *	453.33	mg/L	60	2540 D Total Suspended Solid Dried at 103 - 105°C, Method APHA
Acelles y Grasas	-	mg/L	20	5520 D Soxhlet Extraction, Method APHA
pH *	8.71	---	5.5 - 9.0 Verificados en aguas limpias, 6.0 - 9.5 Verificados en aguas costero marinas	4500 - H ⁺ B Electrometric, Method APHA
Turbidez	315.50	NTU	No se incrementara en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor.	2130 B Nephelometric, Method APHA
Color	1780	Pt - Co	Efluente líquido no deberá incrementar color visible al cuerpo receptor	120 Method HACH
Cloruros	-	mg/L	---	4500 - Chloride B Argentometric, Method APHA
Oxigeno Disuelto *	-	mg/L	---	4500 - O C Azide Modification, Method APHA
* Métodos Acreditados** Fuera de Rango*** Interferencia de Metrosil D No Detectable				
Revisado por:  				

Anexo 2. Resultados de análisis de Demanda Bioquímica de Oxígeno del afluente de la Planta de Tratamiento de San Luis Talpa para el mes de febrero.

SAN LUIS TALPA, LA PAZ.

San Salvador, 06 de marzo de 2017

N° de Solicitud: SA0459	N° de Reporte: RA1446 1ª Edición
Datos del cliente	
Empresa:	ANDA
Responsable:	Héctor Cañas
Dirección:	Boulevard Venezuela, Reg. Central, San Salvador.
Teléfono:	2447-2430
E-mail:	victor.galan@anda.gob.sv

Datos Muestra	
Naturaleza:	Agua Residual LC17 1303
Fecha de ingreso:	27/02/2017
Hora de ingreso:	02:21 p.m.
Fecha de análisis:	27/02/2017 a 04/03/2017
Recolectado por:	Cliente

REPORTE DE ANALISIS

DETERMINACION FISICOQUIMICA	RESULTADO	NORMA ANDA AGUAS RESIDUALES**	METODO***	DICTAMEN
Demanda Bioquímica de Oxígeno(DBO)* mg/l	319	400	Standard Methods, APHA, AWWA WEF Ed 22 2012. 5210-B Metodo Titulométrico de 5 días	ACEPTADO

*Análisis Acreditado por OSA (Organismo Salvadoreño de Acreditación)

**Norma para regular la calidad de aguas residuales de tipo especial descargadas al alcantarillado sanitario. ANDA, 2009.

***Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22 nd Edición. 2012.
mg/l. Miligramo por litro

CARACTERISTICAS DE LA MUESTRA: Agua de aspecto turbio, color amarillo, olor a detergente, con sedimento color café; Recibida en frasco de plástico de color rojo.

OBSERVACIONES: El resultado cumple con el límite establecido por la norma.

Su muestra se conservará por 24 horas después de la recepción del presente informe, para atender cualquier necesidad adicional.

Los resultados del presente reporte corresponden en procedencia y código a la muestra indicada.

Por políticas de confidencialidad y derechos de autor, la reproducción total o parcial de este reporte debe ser autorizada por el laboratorio.

Atentamente,


CENTRO DE CONTROL DE CALIDAD INDUSTRIAL S.A DE C.V - CCCI

Suirma Yanira Reyes de Serpas
Dra. Suirma Yanira Reyes de Serpas,
Directora Ejecutiva



El CCCI trabaja con un sistema de Calidad Implementado bajo la Norma NTS ISO /IEC 17025:2005 como parte de la garantía de calidad de nuestros análisis.

Anexo 3. Resultados de análisis del afluente de la Planta de Tratamiento de San Luis Talpa para el mes de marzo.

	LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD	CODIGO: P G - 2 8 F 2
	REGISTRO	N° LC 1718 45
	NOMBRE: INFORME DE ENSAYO DE AGUA RESIDUALES	PAGINA: 1 de 1

Código de Muestra: 8130101	Identificación de Muestra: LC171845
Cliente: SANEAMIENTO, REGION CENTRAL	Fecha de Recepcion: 22-03-2017 Hora: 13:30
Dirección: PTARO SAN LUIS TALPA, LA PAZ.	Fecha de Análisis: 22-03-2017 Hora: 14:01
Muestreador: HECTOR CAÑAS	Tipo de Muestra Analizada:
Punto de Muestreo: AFLUENTE DE PLANTA	Parametros de acuerdo a NSO 13.07.01.04
Plan de Muestreo: Puntual	ORDINARIO
Fecha de Muestreo: 22-03-2017 Hora: 10:45	

Parámetros de Campo	Resultados	Unidad	Limite Máximo Permissible	Método
Temperatura de Muestra	29.0	°C.	20 - 35 °C La temperatura del agua descargada al cuerpo receptor no podrá alterar* 5°C con respecto al cuerpo hídrico receptor	2550 Laboratory and Field. Method APHA
Cloro Residual	-	mg/L	-----	4500- Cl G DPD Colorimetric. Method APHA

RESULTADOS ANALITICOS

Parámetros de Laboratorio	Resultados	Unidad	Limite Máximo Permissible	Método
DQO Total *	632.00	mg/L	150	5220 C Closed Reflux, Titrimetric. Method APHA
DBO Total	-	mg/L	60	5210 B 5-Day BOD Test. Method APHA
Sólidos Sedimentables *	2.5	mL/L	1	2540 F Settleable Solid. Method APHA
Sólidos Suspendidos Totales *	166.67	mg/L	60	2540 D Total Suspended Solid Dried at 103 - 105°C. Method APHA
Aceites y Grasas	-	mg/L	20	5520 D Soxhlet Extraction. Method APHA
pH *	6.93	---	5.5 - 9.0 Vertidos en aguas limnicas; 6.0 - 9.5 Vertidos en aguas costero marinas	4500 - H*B Electrometric. Method APHA
Turbidez	229.50	NTU	No se incrementará en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor.	2130 B Nephelometric. Method APHA
Color	1230	Pt - Co	Eluente líquido no deberá incrementar color visible al cuerpo receptor	120 Method HACH
Cloruros	-	mg/L	---	4500 - Chloride B Argentometric. Method APHA
Oxígeno Disuelto *	-	mg/L	---	4500 - O C Azide Modification. Method APHA

* Métodos Acreditados** Fuera de Rango*** Interferencia de Matriz/D No Detectable

Revisado por:



Anexo 4. Resultados de Demanda Bioquímica de Oxígeno del afluente de la Planta de San Luis Talpa para el mes de marzo.

PTARD EN LUGAR TALPA, LA PAZ

San Salvador, 18 de abril de 2017

N° de Solicitud: SA0676	N° de Reporte: RA2277
Datos del cliente	
Empresa:	ANDA
Responsable:	Héctor Cañas
Dirección:	Boulevard Venezuela, Reg. Central, San Salvador.
Teléfono:	2447-2430
E-mail:	victor.galan@anda.gob.sv

Datos Muestra	
Naturaleza:	Agua Residual LC17 1845
Fecha de ingreso:	22/03/2017
Hora de ingreso:	02:10 p.m.
Fecha de análisis:	23/03/2017 28/03/2017
Recolectado por:	Cliente

REPORTE DE ANALISIS

DETERMINACION FISICOQUIMICA	RESULTADO	NORMA PARA AGUAS RESIDUALES NSO 13.49.01-09**	METODO***	DICTAMEN
Demanda Bioquímica de Oxígeno(DBO)* mg/l	984	60	Standard Methods, APHA AWWA WEF Ed 22 2012. 5210-B Metodo Titulométrico de 5 días	RECHAZADO

*Análisis Acreditado por OSA (Organismo Salvadoreño de Acreditación)

** Norma Salvadoreña Obligatoria. Aguas residuales de tipo ordinarias descargadas a un cuerpo receptor.

***Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22 nd Edición. 2012.
mg/l: Miligramo por litro

CARACTERISTICAS DE LA MUESTRA: Agua de aspecto turbio, amarillenta, olor a detergente sucio, pocos sedimentos; Recibida en frasco plástico rojo.

OBSERVACIONES: El resultado no cumple con el límite establecido por la norma.

Su muestra se conservará por 24 horas después de la recepción del presente informe, para atender cualquier necesidad adicional.

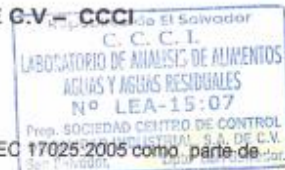
Los resultados del presente reporte corresponden en procedencia y código a la muestra indicada.

Por políticas de confidencialidad y derechos de autor, la reproducción total o parcial de este reporte debe ser autorizada por el laboratorio.

Atentamente,


CENTRO DE CONTROL DE CALIDAD INDUSTRIAL S.A DE C.V. - CCCI El Salvador

Sulma Yanira Reyes de Serpas
Dra. Sulma Yanira Reyes de Serpas.
Directora Ejecutiva



El CCCI trabaja con un sistema de Calidad implementado bajo la Norma NTS ISO /IEC 17025:2005 como parte de la garantía de calidad de nuestros análisis.

Anexo 5. Resultados de análisis del afluente de la Planta de Tratamiento de San Luis Talpa para el mes de Abril.

	LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD		CODIGO: P G - 2 8 F 2	
	REGISTRO		N° <i>LC 172168</i>	
	NOMBRE: INFORME DE ENSAYO DE AGUA RESIDUALES		PAGINA: 1 de 1	
Código de Muestra: 8130101			Identificación de Muestra: LC172168	
Cliente: SANEAMIENTO, REGION CENTRAL			Fecha de Recepcion: 05-04-2017 Hora: 14:05	
Dirección: PTARO, SAN LUIS TALPA LA PAZ			Fecha de Análisis: 05-04-2017 Hora: 14:25	
Muestreador: HECTOR CAÑAS			Tipo de Muestra Analizada:	
Punto de Muestreo: AFLUENTE DE PLANTA			Parametros de acuerdo a NSO 13.07.01.04	
Plan de Muestreo: Puntual			ORDINARIO	
Fecha de Muestreo: 05-04-2017 Hora: 11:35				
Parámetros de Campo	Resultados	Unidad	Limite Máximo Permisible	Método
Temperatura de Muestra	28.0	°C.	20 - 35 °C La temperatura del agua descargada al cuerpo receptor no podrá alterar ± 5°C con respecto al cuerpo hidrico receptor	2550 Laboratory and Field. Method APHA
Cloro Residual	-	mg/L	-----	4500- Cl G DPD Colorimetric. Method APHA
RESULTADOS ANALITICOS				
Parámetros de Laboratorio	Resultados	Unidad	Limite Máximo Permisible	Método
DQO Total *	528.00	mg/L	150	5220 C Closed Reflux, Titrimetric. Method APHA
DBO Total	-	mg/L	60	5210 B 5-Day BOD Test. Method APHA
Sólidos Sedimentables *	5.0	mL/L	1	2540 F Settleable Solid. Method APHA
Sólidos Suspendidos Totales *	253.33	mg/L	60	2540 D Total Suspended Solid Dried at 103 - 105°C. Method APHA
Aceites y Grasas	-	mg/L	20	5620 D Soxhlet Extraction. Method APHA
pH *	7.39	---	5.5 - 9.0 Vertidos en aguas limnicas; 5.0 - 9.5 Vertidos en aguas costero marinas	4500 - H ⁺ B Electrometric. Method APHA
Turbidez	234.00	NTU	No se incrementara en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor.	2130 B Nephelometric. Method APHA
Color	995	Pt - Co	Efluente liquido no deberá incrementar color visible al cuerpo receptor	120 Method HACH
Cloruros	-	mg/L	---	4500 - Chloride B Argentometric. Method APHA
Oxigeno Disuelto *	-	mg/L	---	4500 - O C Azide Modification. Method APHA
* Métodos Acreditados** Fuera de Rango*** Interferencia de Matriz N.D No Detectable				

Anexo 6. Resultados de Demanda Bioquímica de Oxígeno del afluente de la Planta de Tratamiento de San Luis Talpa para el mes de Abril

Plantilla San Luis Talpa

San Salvador, 24 de abril de 2017

N° de Solicitud: SA0805	N° de Reporte: RA2682
Datos del cliente	
Empresa:	ANDA
Responsable:	Héctor Cañas
Dirección:	Boulevard Venezuela, Reg. Central, San Salvador.
Teléfono:	2447-2430
E-mail:	victor.galan@anda.gob.sv

Datos Muestra	
Naturaleza:	Agua Residual LC 17 2168
Fecha de ingreso:	05/04/2017
Hora de ingreso:	2:50 p.m.
Fecha de análisis:	05/04/2017 a 10/04/2017
Recolectado por:	Cliente

REPORTE DE ANALISIS

DETERMINACION FISICOQUIMICA	RESULTADO	NORMA PARA AGUAS RESIDUALES NSO 13.49.01:09**	METODO***	DICTAMEN
Demanda Bioquímica de Oxígeno(DBO)* mg/l	1,312	60	Standard Methods, APHA AWWA WEF Ed 22 2012. 5210 -B Metodo Titulométrico de 5 días	RECHAZADO

*Análisis Acreditado por OSA (Organismo Salvadoreño de Acreditación)

** Norma Salvadoreña Obligatoria. Aguas residuales de tipo ordinarias descargadas a un cuerpo receptor.

***Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22 nd Edición. 2012.

mg/l: Miligramo por litro

CARACTERISTICAS DE LA MUESTRA: Agua turbia, de color café claro, olor a detergente sucio con partículas en suspensión y sedimentables; Recibida en frasco plástico.

OBSERVACIONES: El resultado no cumple con el límite establecido por la norma.

Su muestra se conservará por 24 horas después de la recepción del presente informe, para atender cualquier necesidad adicional.

Los resultados del presente reporte corresponden en procedencia y código a la muestra indicada.

Por políticas de confidencialidad y derechos de autor, la reproducción total o parcial de este reporte debe ser autorizada por el laboratorio.

Atentamente,



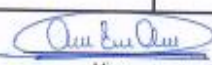

CENTRO DE CONTROL DE CALIDAD INDUSTRIAL S.A DE C.V – CCCI

Sulma Yanira Reyes de
Dra. Sulma Yanira Reyes de Serpés.
Directora Ejecutiva



El CCCI trabaja con un sistema de Calidad implementado bajo la Norma NTS ISO 9001:2005 como parte de la garantía de calidad de nuestros análisis.

Anexo 7. Resultados de análisis del efluente de la Planta de Tratamiento para el mes de febrero.

	LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD		CODIGO: PG-28F2	
	REGISTRO		N° LC 171304	
	NOMBRE: INFORME DE ENSAYO DE AGUA RESIDUALES		PAGINA: 1 de 1	
Código de Muestra: 8130108		Identificación de Muestra: LC171304		
Cliente: SANEAMIENTO, REGION CENTRAL		Fecha de Recepción: 27-02-2017 Hora: 13:35		
Dirección: PTARO SAN LUIS TALPA, LA PAZ		Fecha de Análisis: 27-02-2017 Hora: 14:32		
Muestreador: HECTOR CAÑAS		Tipo de Muestra Analizada:		
Punto de Muestreo: EFLUENTE DE PLANTA		Parametros de acuerdo a NSO 13.49.01.09		
Plan de Muestreo: Puntual		ORDINARIO COMPLEMENTARIOS		
Fecha de Muestreo: 27-02-2017		Hora: 10:40		
Parámetros de Campo	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permissible	Método de Referencia
Temperatura de Muestra	24.0	°C.	20 - 35 La temperatura del agua descargada al cuerpo receptor no podrá alterar $\pm 5^{\circ}\text{C}$ con respecto al cuerpo hídrico receptor	2550 Laboratory and Field. Method APHA
Cloro Residual	-	mg/L	-----	4500-Cl G DPD Colorimetric. Method APHA
RESULTADOS ANALITICOS				
Parámetros de Laboratorio	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permissible	Método de Referencia
DQO Total *	86.40	mg/L	150	5220 C Closed Reflux, Titrimetric. Method APHA
DBO Total *	-	mg/L	60	5210 B 5 - Day BOD Test. Method APHA
Sólidos Sedimentables *	N.D	ml/L	1	2540 F Settleable Solids. Method APHA
Sólidos Suspendidos Totales *	31.00	mg/L	60	2540 D Total Suspended Solid Dried at 103 - 105°C. Method APHA
Aceites y Grasas	19.00	mg/L	20	5520 D Soxhlet Extraction. Method APHA
pH *	7.74	---	5.5 - 9.0 Vertidos en aguas limnias; 6.0 - 9.5 Vertidos en aguas costero marinas	4500 - H * B Electrometric Method APHA
Turbidez	22.25	NTU	No se incrementará en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor.	2130 B Nephelometric Method APHA
Color	272	Pt - Co	Efluente líquido no deberá incrementar color visible al cuerpo receptor	120 Method HACH
Cloruros	100.25	mg/L	---	4500 Chloride B. Argentometric. Method APHA
Oxígeno Disuelto *	-	mg/L	---	4500 - O C Azide Modification. Method APHA
Coliformes Totales	46000000	NMP/100mL	10000	9221 B Standard Total Coliform Fermentation Technique. Method APHA
Coliformes Fecales	46000000	NMP/100mL	2000	9221 E Fecal Coliform Procedure. Method APHA
* Métodos Acreditados ** Fuera de Rango *** Interferencia de Matriz N.D No Detectable				
Revisado por:   				
Observaciones: -				

Anexo 8. Resultados de Demanda Bioquímica de Oxígeno del efluente de la Planta de Tratamiento para el mes de febrero.

San Salvador, 06 de marzo de 2017

N° de Solicitud: SA0459	N° de Reporte: RA1447 1ª Edición
Datos del cliente	
Empresa:	ANDA
Responsable:	Héctor Cañas
Dirección:	Boulevard Venezuela, Reg. Central, San Salvador.
Teléfono:	2447-2430
E-mail:	victor.galan@anda.gob.sv

Datos Muestra	
Naturaleza:	Agua Residual LC17 1304
Fecha de ingreso:	27/02/2017
Hora de ingreso:	02:21 p.m.
Fecha de análisis:	27/02/2017 a 04/03/2017
Recolectado por:	Cliente

REPORTE DE ANALISIS

DETERMINACION FISICOQUIMICA	RESULTADO	NORMA ANDA AGUAS RESIDUALES**	METODO***	DICTAMEN
Demanda Bioquímica de Oxígeno(DBO)* mg/l	11	400	Standard Methods, APHA AWWA WEF Ed 22 2012. 5210 -B Metodo: Titulométrico de 5 días	ACEPTADO

*Análisis Acreditado por OSA (Organismo Salvadoreño de Acreditación)

**Norma para regular la calidad de aguas residuales de tipo especial descargadas al alcantarillado sanitario, ANDA, 2009.

***Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22 nd Edición. 2012.
mg/l: Miligramo por litro

CARACTERISTICAS DE LA MUESTRA: Agua de aspecto poco turbio, color amarillo, olor no perceptible, con finas partículas blancas; Recibida en frasco de plástico de color rojo.

OBSERVACIONES: El resultado cumple con el límite establecido por la norma.

Su muestra se conservará por 24 horas después de la recepción del presente informe, para atender cualquier necesidad adicional.

Los resultados del presente reporte corresponden en procedencia y código a la muestra indicada.

Por políticas de confidencialidad y derechos de autor, la reproducción total o parcial de este reporte debe ser autorizada por el laboratorio.

Atentamente,


CENTRO DE CONTROL DE CALIDAD INDUSTRIAL S.A DE C.V – CCCI C. C. C. I.


 Dra. Sulma Yanira Reyes de Serpas.
 Directora Ejecutiva



El CCCI trabaja con un sistema de Calidad Implementado bajo la Norma NTS ISO /IEC 17025:2005 como parte de la garantía de calidad de nuestros análisis.

Anexo 9. Resultados de los análisis del efluente de la Planta de Tratamiento para el mes de marzo.

 LABORATORIO DE CALIDAD	LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD		CODIGO: PG-28F2	
	REGISTRO		N° LC 171846	
	NOMBRE: INFORME DE ENSAYO DE AGUA RESIDUALES		PAGINA: 1 de 1	
Código de Muestra: 8130108	Identificación de Muestra: LC171846			
Cliente: SANEAMIENTO, REGION CENTRAL	Fecha de Recepcion: 22-03-2017		Hora: 13:30	
Dirección: PTARO SAN LUIS TALPA, LA PAZ.	Fecha de Análisis: 22-03-2017		Hora: 13:59	
Muestreador: HECTOR CAÑAS	Tipo de Muestra Analizada:			
Punto de Muestreo: EFLUENTE DE PLANTA	Parametros de acuerdo a NSO 13.49.01.09			
Plan de Muestreo: Puntual	ORDINARIO COMPLEMENTARIOS			
Fecha de Muestreo: 22-03-2017	Hora: 11:00			
Parámetros de Campo	Resultados	Unidad	Limite Máximo Permisible	Método de Referencia
Temperatura de Muestra	21.0	°C.	20 - 35 La temperatura del agua descargada al cuerpo receptor no podrá alterar $\pm 5^{\circ}\text{C}$ con respecto al cuerpo hídrico receptor	2560 Laboratory and Field. Method APHA
Cloro Residual	-	mg/L	-----	4500- Cl G DPD Colorimetric. Method APHA
RESULTADOS ANALITICOS				
Parámetros de Laboratorio	Resultados	Unidad	Limite Máximo Permisible	Método de Referencia
DQO Total *	108.80	mg/L	150	5220 C Closed Reflux, Trinitimetric. Method APHA
DBO Total	-	mg/L	60	5210 B 5 - Day BOD Test. Method APHA
Sólidos Sedimentables *	N.D.	ml/L	1	2540 F Settleable Solids. Method APHA
Sólidos Suspendidos Totales *	< 10.80	mg/L	60	2540 D Total Suspended Solid Dried at 103 - 105°C. Method APHA
Aceites y Grasas	12.00	mg/L	20	5520 D Soxhlet Extraction. Method APHA
pH *	7.11	---	5.5 - 9.0 Vertidos en aguas limnias; 6.0 - 9.5 Vertidos en aguas costero marinas	4500 - H ⁺ B Electrometric Method APHA
Turbidez	26.95	NTU	No se incrementara en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor.	2130 B Nephelometric Method APHA
Color	334	Pl - Co	Efluente líquido no deberá incrementar color visible al cuerpo receptor	120 Method HACH
Cloruros	54.59	mg/L	---	4500 Chloride B. Argentometric. Method APHA
Oxigeno Disuelto *	-	mg/L	---	4500 - O C Azide Modification. Method APHA
Coliformes Totales	79000000	NMP/100mL	10000	9221 B Standard Total Coliform Fermentation Technique. Method APHA
Coliformes Fecales	49000000	NMP/100mL	2000	9221 E Fecal Coliform Procedure. Method APHA

Anexo 10. Resultados de Demanda Bioquímica de Oxígeno del efluente de la Planta de Tratamiento para el mes de marzo

San Salvador, 18 de abril de 2017

N° de Solicitud: SA0676	N° de Reporte: RA2276
Datos del cliente	
Empresa:	ANDA
Responsable:	Héctor Cañas
Dirección:	Boulevard Venezuela, Reg. Central, San Salvador.
Teléfono:	2447-2430
E-mail:	victor.galan@anda.gob.sv

Datos Muestra	
Naturaleza:	Agua Residual LC17 1846
Fecha de ingreso:	22/03/2017
Hora de ingreso:	02:10 p.m.
Fecha de análisis:	23/03/2017 28/03/2017
Recolectado por:	Cliente

REPORTE DE ANALISIS

DETERMINACION FISICOQUIMICA	RESULTADO	NORMA PARA AGUAS RESIDUALES NSO 13.49.01:09**	METODO***	DICTAMEN
Demanda Bioquímica de Oxígeno(DBO)* mg/l	208	60	Standard Methods, APHA AWWA WEF Ed 22 2012. 5210 -B Metodo Titulometrico de 5 dias	RECHAZADO

*Análisis Acreditado por OSA (Organismo Salvadoreño de Acreditación)

** Norma Salvadoreña Obligatoria. Aguas residuales de tipo ordinarias descargadas a un cuerpo receptor.

***Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22 nd Edición. 2012.
mg/l. Miligramo por litro

CARACTERISTICAS DE LA MUESTRA: Agua de aspecto turbio, color amarillento, olor a detergente sucio, pocos solidos suspendidos; Recibida en frasco plástico rojo.

OBSERVACIONES: El resultado no cumple con el límite establecido por la norma.

Su muestra se conservará por 24 horas después de la recepción del presente informe, para atender cualquier necesidad adicional.

Los resultados del presente reporte corresponden en procedencia y código a la muestra indicada.

Por políticas de confidencialidad y derechos de autor, la reproducción total o parcial de este reporte debe ser autorizada por el laboratorio.

Atentamente,

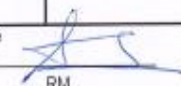


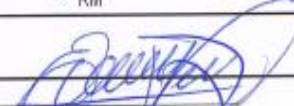

CENTRO DE CONTROL DE CALIDAD INDUSTRIAL S.A DE C.V – CCCI

Sulma Yanira Reyes de Serpas
Dra. Sulma Yanira Reyes de Serpas.
Directora Ejecutiva

El CCCI trabaja con un sistema de Calidad implementado bajo la Norma NTS ISO /IEC 17025:2005 como parte de la garantía de calidad de nuestros análisis.



Anexo 11. Resultados de los análisis del efluente de la Planta de Tratamiento para el mes de abril.

LABORATORIO DE CALIDAD		REGISTRO		N° LC 172169
		NOMBRE: INFORME DE ENSAYO DE AGUA RESIDUALES		PAGINA: 1 de 1
Código de Muestra: 8130108		Identificación de Muestra: LC172169		
Cliente: SANEAMIENTO, REGION CENTRAL		Fecha de Recepcion: 05-04-2017 Hora: 14:05		
Dirección: PTARO, SAN LUIS TALPA LA PAZ		Fecha de Análisis: 05-04-2017 Hora: 14:23		
Muestreador: HECTOR CAÑAS		Tipo de Muestra Analizada:		
Punto de Muestreo: EFLUENTE DE PLANTA		Parametros de acuerdo a NSO 13.49.01.09		
Plan de Muestreo: Puntual		ORDINARIO COMPLEMENTARIOS		
Fecha de Muestreo: 05-04-2017		Hora: 11:45		
Párametros de Campo	Resultados	Unidad	Limite Máximo Permisible	Método de Referencia
Temperatura de Muestra	26.0	°C.	20 - 35 La temperatura del agua descargada al cuerpo receptor no podra alterar ± 5°C con respecto al cuerpo hídrico receptor	2560 Laboratory and Field. Method APHA
Cloro Residual	-	mg/L	-----	4500- Cl G DPD Colorimetric. Method APHA
RESULTADOS ANALITICOS				
Párametros de Laboratorio	Resultados	Unidad	Limite Máximo Permisible	Método de Referencia
DQO Total *	64.00	mg/L	150	5220 C Closed Reflux, Titrimetric. Method APHA
DBO Total	-	mg/L	60	5210 B 5 - Day BOD Test. Method APHA
Sólidos Sedimentables *	0.5	ml/L	1	2540 F Settleable Solids. Method APHA
Sólidos Suspendedos Totales *	23.57	mg/L	60	2540 D Total Suspended Solid Dried at 103 - 105°C. Method APHA
Aceites y Grasas	9.00	mg/L	20	5520 D Soxhlet Extraction. Method APHA
pH *	7.69	----	5.5 - 9.0 Veridos en aguas limnicas, 6.0 - 9.5 Veridos en aguas costero marinas	4500 - H * B Electrometric Method APHA
Turbidez	23.80	NTU	No se incrementara en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor.	2130 B Nephelometric Method APHA
Color	236	Pt - Co	Efluente liquido no debera incrementar color visible al cuerpo receptor	120 Method HACH
Cloruros	50.23	mg/L	---	4500 Chloride B. Argentometric. Method APHA
Oxigeno Disuelto *	-	mg/L	---	4500 - O C Azide Modification. Method APHA
Coliformes Totales	2300000	NMP/100mL	10000	9221 B Standard Total Coliform Fermentation Technique. Method APHA
Coliformes Fecales	2300000	NMP/100mL	2000	9221 E Fecal Coliform Procedure. Method APHA
* Métodos Acreditados ** Fuera de Rango *** Interferencia de Métriz N.D No Detectable				
Revisado por:		  		
Observaciones: -				
Autorizado por:				

Anexo 12. Resultados de Demanda Bioquímica de Oxígeno del efluente de la Planta de Tratamiento para el mes de abril.

San Salvador, 24 de abril de 2017

N° de Solicitud: SA0805	N° de Reporte: RA2681
Datos del cliente	
Empresa:	ANDA
Responsable:	Héctor Cañas
Dirección:	Boulevard Venezuela, Reg. Central, San Salvador.
Teléfono:	2447-2430
E-mail:	victor.galan@anda.gob.sv

Datos Muestra	
Naturaleza:	Agua Residual LC17 2169
Fecha de ingreso:	05/04/2017
Hora de ingreso:	2:50p.m.
Fecha de análisis:	05/04/2017 a 10/04/2017
Recolectado por:	Cliente

REPORTE DE ANALISIS

DETERMINACION FISICOQUIMICA	RESULTADO	NORMA PARA AGUAS RESIDUALES NSO 13.49.01:09**	METODO***	DICTAMEN
Demanda Bioquímica de Oxígeno(DBO)* mg/l	230	60	Standard Methods, APHA AWWA WEF Ed 22 2012. 5210 -B Metodo Titulometrico de 5 dias	RECHAZADO

*Análisis Acreditado por OSA (Organismo Salvadoreño de Acreditación)

** Norma Salvadoreña Obligatoria. Aguas residuales de tipo ordinarias descargadas a un cuerpo receptor.

***Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22 nd Edición. 2012.

mg/l: Miligramo por litro

CARACTERISTICAS DE LA MUESTRA: Agua poco turbia amarillenta, leve olor a detergente sucio, con partículas en suspensión; Recibida en frasco plástico.

OBSERVACIONES: El resultado no cumple con el límite establecido por la norma.

Su muestra se conservará por 24 horas después de la recepción del presente informe, para atender cualquier necesidad adicional.

Los resultados del presente reporte corresponden en procedencia y código a la muestra indicada.

Por políticas de confidencialidad y derechos de autor, la reproducción total o parcial de este reporte debe ser autorizada por el laboratorio.

Atentamente,

CENTRO DE CONTROL DE CALIDAD INDUSTRIAL S.A DE C.V – CCCI

Sulma Yanira Reyes de Serpas
Dra. Sulma Yanira Reyes de Serpas.
Directora Ejecutiva



El CCCI trabaja con un sistema de Calidad Implementado bajo la Norma NTS ISO 17025:2005 como parte de la garantía de calidad de nuestros análisis.