

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE POSGRADO Y EDUCACIÓN CONTINUA
PROGRAMA DE POSGRADO EN AGRONOMÍA TROPICAL
SOSTENIBLE



“Evaluación de la aplicación de microorganismos de montaña como bio-remediadores para la depuración de aguas residuales ordinarias en la Planta de Tratamiento del municipio de San Luis Talpa, departamento de La Paz, El Salvador”

Presentado por:

Ing. Agr. José Edson Amaya Montoya

TESIS

**Presentado como requisito parcial para obtener el Grado de:
Maestro en Ciencias en Gestión Integral del Agua**

San Salvador, El Salvador, Centro América, 2019.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

Lic. M. Sc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIO GENERAL:

Ing. FRANCISCO ANTONIO ALARCON SANDOVAL

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

DECANO:

Dr. FRANCISCO LARA ASCENCIO

SECRETARIO:

Ing. Agr. BALMORE MARTINEZ SIERRA

Esta Tesis fue realizada bajo la dirección del Tribunal Evaluador de Tesis indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptado como requisito parcial para la obtención del grado de:

Maestro

En Ciencias en Gestión Integral del Agua

San Salvador, El Salvador, Centro América, 2019

Tribunal Evaluador de Tesis

Licda. M. Sc. Ada Yanira Arias de Linares
Asesora de Tesis y Presidenta del Tribunal Evaluador de Tesis

Arq. M. Sc. Kevin Antonio Zepeda
Secretario y Miembro del Tribunal Evaluador de Tesis

Licda. M. Sc. Tania Morena Alas Rivera
Vocal y Miembro del Tribunal Evaluador de Tesis

Ing. M. Sc. Mario Antonio Orellana Núñez
Director de la Escuela de Posgrado y Educación Continua

Ing. M. Sc. Marcia Lizeth Barrera de Calderón
Coordinadora de Maestría en Gestión Integral del Agua

Dedicatoria

A Dios Todopoderoso por poner los conocimientos, los medios y recursos económicos necesarios para finalizar esta tesis.

A mi padre y madre, por sus oraciones y palabras de aliento en momentos difíciles, así como también a mis hermanos y sobrina por su apoyo moral.

A mis amados hijos, a quienes sacrifiqué durante el tiempo que dediqué para estudiar e investigar.

A mis asesoras (Licda. M. Sc. Ada Yanira Arias de Linares y Licda. M. Sc. Tania Morena Alas) y asesor (Arq. M. Sc. Kevin Antonio Zepeda), quienes tuvieron la paciencia y sabiduría para orientar esta investigación con la calidad científica mas alta.

Al personal del Departamento de Química Agrícola de la UES (Licda. M. Sc. Ada Yanira Arias de Linares, Lic. Norvis Salvador Solano, Licda. Rosmery Erroa y Lic. Rudy Ramos), por el valioso aporte científico y calidad técnica demostrados en los resultados de laboratorio.

A la Licda. Claudia María Arriaza (CIDE-ANDA), de quien recibí el apoyo técnico-científico crucial después de estar al borde de abandonar esta investigación.

Para Aminta Elizabeth Hernandez Mazzin... Gracias por insistir y creer en mi.

A mis Maestros y Maestras, por compartir ciencia y conocimientos con la 4ª Promoción MGIA-UES, con especial aprecio al Ph. D. Miguel Ángel Hernandez.

A mis compañeros y compañeras de la 4ª Promoción MGIA, por construir el espíritu de camaradería que nos caracterizó, en especial a mi amigo Lic. M. Sc. Guillermo Emilio Alvarenga quien apoyó científicamente esta tesis.

Índice General

	Página
Resumen	1
Abstract.....	2
I. Introducción.	3
II. Planteamiento del problema.....	4
III. Objetivos.....	5
3.1 Objetivo general	5
3.2 Objetivos específicos.....	5
IV. Hipótesis.....	5
V. Marco Teórico.	6
5.1. Objetivos de desarrollo sostenible.	6
5.2. Desarrollo rural.	7
5.3. Recursos naturales.....	8
5.4. Recurso agua.	9
5.5. Gestión integral del recurso hídrico.	10
5.6. Calidad del agua.....	10
5.7. Contaminación del recurso agua.....	11
5.8. Concepto de agua residual.....	12
5.8.1. Agua Residual de tipo Ordinario.....	12
5.8.2. Agua Residual de tipo especial.....	12
5.9. Inversión en saneamiento y depuración.	13
5.10. Marco institucional, normativo y de planificación de la depuración de las aguas residuales urbanas	13
5.11. Marco normativo y de planificación del saneamiento.	16
5.12. Estrategia nacional de saneamiento ambiental.....	18
5.13. Normativas sobre límites de vertido de aguas residuales en El Salvador.	19
5.14. Situación de la depuración de aguas residuales en El Salvador.....	20
5.15. Transmisión de enfermedades por aguas contaminadas.....	20
5.16. Contaminantes en el agua.....	21

	Página
5.16.1. Contaminación bacteriológica.....	21
5.16.2. Contaminación físico-química.....	22
5.17. Parámetros físico-químicos de las aguas residuales ordinarias.....	23
5.17.1 pH.....	23
5.17.2 Temperatura.....	23
5.17.3 Sólidos totales disueltos.....	23
5.17.4. Demanda bioquímica de oxígeno.....	24
5.17.5. Oxígeno Disuelto.....	24
5.17.6. Nitratos.....	24
5.17.7. Fosfatos.....	24
5.18. Microorganismos de montaña.....	25
5.18.1. Propiedades de los microorganismos de montaña.....	27
5.18.2. Recolección de inóculo de microorganismos de montaña.....	27
5.19. Reproducción y activación de microorganismos de montaña.....	28
5.19.1. Fase sólida.....	28
5.19.2. Fase líquida.....	30
5.20. Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Ordinarias.....	32
5.20.1. Componentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de San Luís Talpa.....	33
1. Tanques de sedimentación.	
2. Biofiltro.	
3. Digestor de lodos	
4. Patios de secado	
VI. Metodología	
6.1 Ubicación del estudio.....	37
6.2. Metodología de campo.....	37
6.3. Número de muestras de agua a recolectar.....	39
6.4. Aspectos técnicos de la toma de muestras.....	39
6.5. Modelo estadístico.....	41
VII. Análisis de Resultados.....	43
7.1. Resultados microbiológicos.....	43

	Página
7.1.1. Resultados de laboratorio para coliformes totales.....	43
7.1.2. Resultados de laboratorio para coliformes fecales.....	44
7.2. Resultados de laboratorio para parámetros físico-químicos.....	46
7.2.1. Demanda bioquímica de oxígeno.....	46
7.2.2. pH.....	49
7.2.3. Sólidos totales disueltos.....	50
7.2.4. Nitratos.....	52
7.2.5. Fosfatos.....	54
7.2.6. Turbidez.....	57
7.2.7. Conductividad eléctrica.....	59
7.2.8. Oxígeno disuelto total.....	61
7.2.9. Temperatura.....	63
VIII. Conclusiones.....	66
IX. Recomendaciones.....	68
X. Bibliografía.....	69
XI. Anexos.....	74

Índice de Cuadros

	Página
Cuadro 1. Marco institucional de tratamiento y depuración de aguas residuales.....	15
Cuadro 2. Marco normativo de planificación de saneamiento.	16
Cuadro 3. Límites de vertido de aguas residuales urbanas en NSO de aguas residuales ordinarias a un cuerpo receptor.....	20
Cuadro 4. Resultados de análisis microbiológicos para coliformes totales.....	43
Cuadro 5. Resultados de análisis microbiológicos para coliformes fecales.....	45
Cuadro 6. Resultados de análisis físico-químicos para Demanda Bioquímica de Oxígeno....	47
Cuadro 7. Resultados de análisis físico-químicos para pH.....	49
Cuadro 8. Resultados de análisis físico-químicos para sólidos totales disueltos.....	51
Cuadro 9. Resultados de análisis físico-químicos para nitratos.....	53
Cuadro 10. Resultados de análisis físico-químicos para fosfatos.....	55
Cuadro 11. Resultados de análisis físico-químicos para turbidez.....	57
Cuadro 12. Resultados de análisis físico-químicos para conductividad eléctrica.....	59
Cuadro 13. Resultados de análisis físico-químicos para oxígeno disuelto.....	61
Cuadro 14. Resultados de análisis físico-químicos para temperatura.....	64

Índice de Figuras

	Página
Figura 1. Diferentes tipos de bacterias y hongos existentes en los MM.....	26
Figura 2. <i>Lactobacillus</i> sp. presentes en microorganismos de montaña.	26
Figura 3. Levaduras <i>Saccharomyces cereviceae</i> presentes en los microorganismos de montaña.....	27
Figura 4. Recolección de microorganismos de montaña.....	28
Figura 5. Proceso de reproducción de microorganismos de montaña en fase sólida.....	29
Figura 6. Compactación de mezcla y creación de condiciones anaeróbicas de los MM.....	30
Figura 7. Coloración final de fase líquida en reproducción de microorganismos de montaña.....	31
Figura 8. Desarenador en PTAR San Luis Talpa.	33
Figura 9. Sedimentador primario de la PTAR San Luis Talpa	34
Figura 10. Biofiltro en PTAR San Luis Talpa.....	35
Figura 11. Digestor de lodos PTAR San Luis Talpa.....	36
Figura 12. Patios de secado PTAR San Luis Talpa.....	36
Figura 13. Ubicación de la planta de tratamiento de aguas residuales de San Luís Talpa.....	37
Figura 14. Obtención de muestras en sedimentador primario.....	38
Figura 15. Llenado de los contenedores con agua residual.....	39
Figura 16. Frasco de 100 ml para análisis microbiológicos.....	40
Figura 17. Traslado de muestra en cadena fría.....	41

	Página
Figura 18. Comportamientos de coliformes totales con la aplicación de microorganismos de montaña bajo diseño experimental de bloques completamente al azar.....	44
Figura 19. Comportamientos de coliformes fecales con la aplicación de microorganismos de montaña bajo diseño experimental de bloques completamente al azar.....	46
Figura 20. Comportamiento de demanda bioquímica de oxígeno con la aplicación de microorganismos de montaña bajo diseño experimental de bloques completamente al azar	48
Figura 21. Comportamiento de pH con la aplicación de microorganismos de montaña bajo diseño experimental de bloques completamente al azar.....	50
Figura 22. Comportamiento de sólidos totales con la aplicación de microorganismos de montaña bajo diseño experimental de bloques completamente al azar.....	52
Figura 23. Comportamiento de Nitratos con la aplicación de microorganismos de montaña bajo diseño experimental de bloques completamente al azar.....	54
Figura 24. Comportamiento de Fosfatos con la aplicación de microorganismos de montaña bajo diseño experimental de bloques completamente al azar.....	56
Figura 25. Comportamiento de turbidez con la aplicación de microorganismos de montaña bajo diseño experimental de bloques completamente al azar.....	58
Figura 26. Comportamiento de conductividad eléctrica con la aplicación de microorganismos de montaña bajo diseño experimental de bloques completamente al azar.....	60
Figura 27. Comportamiento de oxígeno disuelto con la aplicación de microorganismos de montaña bajo diseño experimental de bloques completamente al azar.....	62
Figura 28. Relación entre de oxígeno disuelto y temperatura.....	63

Figura 29. Comportamiento de la temperatura promedio con la aplicación de microorganismos de montaña aplicando concentraciones de 3, 5 y 10%.....65

Índice de Anexos

	Página
Anexo 1. Norma Salvadoreña Obligatoria 13.49.01:09 de Aguas Residuales Ordinarias.	74
Anexo 2. Resultados de parámetros físico-químicos en el laboratorio del departamento de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas.....	77
Anexo 3. Resultados de parámetros microbiológicos en laboratorios de CID-ANDA.....	81

Resumen

Amaya Montoya, JE. 2019. Evaluación de la aplicación de microorganismos de montaña como bio-remediadores para la depuración de aguas residuales ordinarias en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del municipio de San Luis Talpa, departamento de La Paz, El Salvador. Tesis Maestría. San Salvador. El Salvador. Universidad de El Salvador. 92 p.

En El Salvador el 98% de las aguas superficiales están contaminadas debido al constante ingreso de aguas residuales sin tratamiento a estos cuerpos receptores. A su vez, los índices de enfermedades gastrointestinales tienden a aumentar constantemente, una de sus causas es la presencia de coliformes totales y fecales en el agua de consumo humano. Actualmente, en las escasas plantas de tratamiento de aguas residuales, los coliformes son removidos mediante la cloración. Sin embargo, es ampliamente reconocido el impacto negativo que se ocasiona en los ecosistemas receptores con esta práctica. Como una alternativa para la remoción de estas bacterias dañinas para la salud, se aplicó microorganismos de montaña (MM) a muestras de aguas residuales ordinarias del tratamiento primario de la planta de tratamiento del casco urbano de San Luis Talpa, departamento de La Paz. Tres concentraciones: 3%, 5% y 10% más un testigo fueron evaluados mediante un diseño experimental de bloques completamente al azar, con 5 repeticiones cada uno. Cada muestra fue analizada para coliformes totales, coliformes fecales, pH, sólidos totales disueltos, turbidez, conductividad eléctrica, demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), temperatura, nitratos, fosfatos y oxígeno disuelto. Los resultados indican que la concentración de los MM es directamente proporcional al porcentaje de remoción de coliformes totales, coliformes fecales y DBO₅ e inversamente proporcional a la concentración de oxígeno disuelto. Para coliformes fecales se removió del 98.94% al 99.9%, mientras que para coliformes totales, las remociones variaron de 99.91% a 99.98%. La DBO₅ se mantuvo cercana al valor inicial para concentraciones de 3% y 5%, sin embargo, para 10% el valor aumentó a 46.22%. El oxígeno disuelto llegó a valores inferiores a 0.5 mg/L para 10% de concentración. A partir de los resultados, es posible sugerir concentraciones de MM entre 3% y 5% para remover coliformes totales y fecales, sin que se incremente notablemente la DBO₅; no obstante, la descarga de aguas tratadas con MM no se recomienda por el momento ya que puede ocasionar impactos negativos al ambiente aerobio del cuerpo receptor. Este trabajo aporta elementos para continuar investigando sobre el potencial depurador que tienen los MM en aguas residuales y el reuso de las aguas tratadas con esta tecnología, como un aporte a la gestión sostenible de los recursos hídricos.

Palabras claves: Microorganismos de montaña, tratamiento de aguas residuales ordinarias, coliformes totales, coliformes fecales, DBO₅, oxígeno disuelto, sólidos totales disueltos, bio-remediadores, fosfatos, nitratos, especies microscópicas amigables.

Abstract.

Amaya Montoya, JE. 2019. Evaluation of the application of mountain microorganisms as bio-relievers for the depuration of ordinary waste water at the Waste Water Treatment Plant of the municipality of San Luis Talpa, departament of La Paz, El Salvador. Master degree thesis. San Salvador. El Salvador. University of El Salvador. 92 p.

In El Salvador, 98% of the surface waters are contaminated due to the constant entry of untreated wastewaters to these receiving bodies. At the same time, the rates of gastrointestinal diseases tend to increase constantly, one of its causes is the presence of total and fecal coliforms in the water used for human consumption. Currently, in the scant wastewater treatment plants, fecal coliforms are removed by chlorination. However, the negative impact on the receiving systems of this practice is widely known. As an alternative for the removal of these harmful bacteria for health, mountain microorganisms (MM) were applied to ordinary wastewater samples from the primary treatment of the treatment plant of the urban area of San Luis Talpa, department of La Paz. Three concentrations of: 3%, 5% and 10% plus a control were evaluated using a completely randomized experimental block design, with 5 repetitions each. Each sample was analyzed for total coliforms, fecal coliforms, pH, total dissolved solids, turbidity, electrical conductivity, biochemical oxygen demand (DBO₅), temperature, nitrates, phosphates and dissolved oxygen. The results indicate that the concentration of MM is directly proportional to the removal percentage of total coliforms, fecal coliforms and DBO₅ and inversely proportional to the concentration of dissolved oxygen. For fecal coliforms, 98.94% to 99.9% was removed, while for total coliforms the removals varied from 99.91% to 99.98%. DBO₅ remained close to the initial value for concentrations of 3% and 5%, however, for 10% increase to 46.22%. The dissolved oxygen reached values below 0.5 mg/L for 10% concentration. From the results, it is possible to suggest MM concentrations of 3% and 5% to remove total and fecal coliforms, without significantly increasing DBO₅; however, the discharge of treated water with MM is not recommended at the moment as it can cause negative impacts to the aerobic environment of the receiving body. This work provides elements to continue investigating the purification potential of MM in wastewater and the reuse of treated water with this technology, as a contribution to the sustainable management of water resources.

Keywords: Mountain microorganisms, treatment of ordinary wastewater, total coliforms, fecal coliforms. DBO₅, dissolved oxygen, dissolved total solids, bio-remediators, phosphates, nitrates, microscopic friendly species.

I. Introducción

La contaminación del recurso hídrico superficial se ha visto incrementada desde mediados del siglo pasado a través del crecimiento poblacional de manera exponencial, la construcción de asentamientos urbanos precarios de manera desordenada, la limitada capacidad operativa de los organismos rectores en materia de salud y medio ambiente, así como también el reducido nivel de educación que posee la población salvadoreña, entre otros.

En El Salvador, la situación antes mencionada, ha tomado un giro preocupante debido a los niveles de estrés hídrico en los que ha caído la región Centroamericana, en consecuencia de los efectos del cambio climático.

Las aguas residuales tratadas que son vertidas en los cuerpos receptores provenientes de los sistemas de tratamiento estatales y privados, difícilmente cumplen las condiciones mínimas contempladas en la Norma Salvadoreña Obligatoria 13.49.01:09 de Aguas Residuales Ordinarias, razón por la cual, el uso de microorganismos de montaña como bio-reguladores es una alternativa ambiental viable, que permite al ecosistema poder reaccionar y purificar la calidad del agua a través de procesos bióticos (CONACYT 2009).

La investigación que se desarrolló, buscó beneficiar a todo aquel cuerpo de agua receptor y el ecosistema hídrico a nivel de territorios, ya que, las expectativas son que mejore la calidad del agua que fluye a través del cuerpo receptor y ayudará la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANANDA), para bajar la carga bacteriana que causan impactos negativos al medio ambiente.

Dentro de los alcances de la investigación, se encuentra la evaluación de la aplicación de los microorganismos de montaña en cuatro tratamientos y cinco repeticiones de cada tratamiento que fueron obtenidos a través de muestras de agua residual de tipo ordinaria provenientes de tanque de sedimentación primario.

II. Planteamiento del Problema

Según el informe de la calidad del agua de los ríos en El Salvador, únicamente el 2% se considerada como “buena”, el 65% es considerada como “regular”, el 27% es considerada como “mala” y un 6% es considerada como “pésima”. Al sumar todas aquellas categorías que representan un riesgo para la salud de la población, se encuentra que el 98% de los ríos están contaminados (MARN 2010). La investigación, surge por la necesidad de ayudar a la población tras la declaración de emergencia nacional dada por ANDA en el 2016 por la escases de agua.

Según el Ministerio de Salud de El Salvador (MINSAL 2004), las diarreas constituyen una de las primeras diez causas de muerte en el país seguida de las enfermedades ocasionadas por los mosquitos y zancudos que en su mayoría se generan debido a que no existen en los ríos y demás, los depredadores naturales de estos. Las bacterias más frecuentes en las aguas contaminadas son las coliformes fecales.

La Norma Salvadoreña Obligatoria 13.49.01:09 de Aguas Residuales Ordinarias descargadas a un cuerpo receptor, distingue entre aguas residuales de carácter ordinario a todas aquellas aguas resultantes de actividades tales como: uso de servicios sanitarios, lavatorios, fregaderos, lavado de ropa entre otras; aguas residuales de tipo especial como el agua residual generada por las actividades agroindustriales, industriales, hospitalarias y todas aquellas que no se consideran de tipo ordinario (CONACYT 2009).

Los lodos resultantes de los procesos de tratamiento de aguas residuales ordinarias, no pueden ser usados en agricultura, debido a que la cantidad de microorganismos contaminantes es extremadamente alta y peligrosa para la salud de la población. Sin embargo, a través de pruebas de laboratorio y aplicación de otras tecnologías, pudieran ser reutilizados en la producción de cultivos alimenticios.

III. Objetivos

3.1 Objetivo general

- Evaluar la aplicación de microorganismos de montaña como bio-remediadores para la depuración de aguas residuales ordinarias en la Planta de Tratamiento del municipio de San Luis Talpa, departamento de La Paz, El Salvador.

3.2 Objetivos específicos

- Analizar los procesos de colonización microbiológica al aplicar tres concentraciones de microorganismos de montaña.
- Evaluar la aplicación de tres concentraciones de microorganismos de montaña aplicados a muestras obtenidas en el sedimentador primario de la Planta de Tratamiento Aguas Residuales de San Luis Talpa para disminuir las poblaciones de coliformes totales y fecales en las aguas residuales de tipo ordinario.
- Analizar las poblaciones de coliformes totales y fecales en las aguas residuales de tipo ordinario.
- Analizar el comportamiento de parámetros físico-químicos tales como: demanda bioquímica de oxígeno, sólidos totales disueltos, pH, temperatura, oxígeno disuelto, nitratos y fosfatos.

IV. Hipótesis

- La aplicación de microorganismos de montaña en las muestras obtenidas del sedimentador primario de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de San Luis Talpa, reducirá los niveles de coliformes fecales y totales, así como también mejorarán los parámetros físico-químicos.

V. Marco Teórico

5.1. Objetivos de desarrollo sostenible

Los objetivos de desarrollo sostenible constituyen un compromiso audaz para finalizar lo que se inició y erradicar la pobreza en todas sus formas y dimensiones de aquí a 2030. Los objetivos globales de la nueva agenda para el desarrollo sostenible impulsada por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) requieren de un crucial enfoque integral para alcanzar las metas deseadas. A continuación se menciona una breve descripción de dichos objetivos (PNUD 2015):

1. Poner fin a la pobreza en todas sus formas en todo el mundo.
2. Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible.
3. Garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades.
4. Garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad, y promover oportunidades de aprendizaje durante toda la vida para todos.
5. Lograr la igualdad entre los géneros y empoderar a todas las mujeres y niñas.
6. Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos.
7. Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos.
8. Promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo, y el trabajo decente para todos.
9. Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible, y fomentar la innovación.
10. Reducir la desigualdad en y entre los países.
11. Conseguir que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles.
12. Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles.
13. Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos.
14. Conservar y utilizar en forma sostenible los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible.
15. Proteger, restablecer y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, efectuar una ordenación sostenible de los bosques, luchar contra la desertificación, detener y revertir la degradación de las tierras y poner freno a la pérdida de diversidad biológica.

16. Promover sociedades pacíficas e inclusivas para el desarrollo sostenible, facilitar el acceso a la justicia para todos y crear instituciones eficaces, responsables e inclusivas a todos los niveles.
17. Fortalecer los medios de ejecución y revitalizar la alianza mundial para el desarrollo sostenible.

Con esta investigación se busca contribuir al objetivo 6: garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible, y el saneamiento para todos, que dice: “Con el fin de garantizar el acceso universal al agua potable segura y asequible para todos en 2030, es necesario realizar inversiones adecuadas en infraestructura, proporcionar instalaciones sanitarias y fomentar prácticas de higiene en todos los niveles”.

Si se busca mitigar la escasez de agua es fundamental proteger y recuperar los ecosistemas relacionados con este recurso, como bosques, montañas, humedales y ríos. También se requiere más cooperación internacional para estimular la eficiencia hídrica y apoyar tecnologías de tratamiento en los países en desarrollo. Se estima que al menos una de cada cuatro personas se verá afectada por escasez recurrente de agua para 2050 (PNUD 2015).

5.2. Desarrollo rural

El desarrollo rural es aquel que ha de contribuir a mejorar el bienestar de los miles de millones de personas que viven en este medio (las zonas rurales son el hogar de la mayoría de los pobres del planeta, en ellas habita la mayoría de la población de los llamados países en desarrollo), superando insostenibles desequilibrios. Y este desarrollo ha de dar respuesta a otras necesidades que constituyen requisitos de la sostenibilidad a nivel planetario (OEI 2016).

La seguridad alimentaria, el hambre y la sostenibilidad guardan una relación recíproca con el sector agrícola, ya que influyen en su rendimiento, el cual, a su vez, afecta a los medios de subsistencia rurales.

Un ejemplo claro es el círculo vicioso, bien documentado, que forman el hambre y la seguridad alimentaria. En este círculo, el hambre impide a la población trabajar de manera eficaz y producir suficientes alimentos, mientras que, a su vez, esta baja producción acentúa el hambre y la pobreza. Por estas razones, el mejor resultado en el desarrollo rural se logra

cuando el crecimiento agrícola y la economía rural no agrícola se refuerzan mutuamente (FAO 2008).

5.3. Recursos naturales

En ecología se entiende que un recurso es algún bien del que depende el ser viviente para su mantenimiento o abastecimiento. Por ejemplo, un recurso para las plantas es el agua, la luz solar y los nutrientes del suelo. Los recursos naturales son entonces, más específicamente para el ser humano, los elementos o cosas naturales que la humanidad aprovecha para su propia existencia material o estética. El agua es esencial para la vida. La cantidad de agua dulce existente en la tierra es limitada, y su calidad está sometida a una presión constante. La conservación de la calidad del agua dulce es importante para el suministro de agua de bebida, la producción de alimentos y el uso recreativo. La calidad del agua puede verse comprometida por la presencia de agentes infecciosos, productos químicos tóxicos o radiaciones (OMS 2017).

La importancia del recurso agua hizo que la Asamblea General de las Naciones Unidas declarará el periodo de 2005 a 2015 como el Decenio Internacional para la Acción «El agua, fuente de vida»; además, por lo esencial de este recurso, el objetivo N° 6 de desarrollo sostenible pretende garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible para apalear el enorme daño que se le ha hecho a dicho recurso a lo largo de la historia (OMS 2004 y PNUD 2015).

Los recursos naturales son aquellos bienes que pueden obtenerse de la naturaleza sin mediar la intervención de la mano de las personas. Estos tienen una influencia positiva en la economía al ayudar a su desarrollo y satisfacer necesidades de la población. No pocas veces el poder económico de un determinado país se sustenta en recursos naturales estratégicos (ABC 2007).

Según informes del Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), en El Salvador se deforesta un promedio anual de 4,500 hectáreas de bosques. Esta deforestación incontrolable surge como producto de la tala indiscriminada de árboles e incendios forestales para la realización de cultivos agrícolas, más otros provocados por individuos que aplican

métodos arcaicos para la crianza de ganado y facilitar el corte de caña de azúcar (Webquery 2016).

La situación de insalubridad medio ambiental se complica mucho más, cuando se experimenta un incremento sensible de la producción de los desechos sólidos que según el MARN, en el 2005 llegaron a un promedio de 2.715 toneladas diarias en todo el territorio nacional, de las cuales el área metropolitana de San Salvador produce un promedio de 1,175 toneladas diarias (Webquery 2016).

5.4. Recurso agua

Actualmente en el país existe una población de más de 6,183,002 habitantes, de los cuales, 3,901,177 son urbanos y 2,281,825 rurales. Al 2010, ANDA y operadores descentralizados han dado cobertura a 3,849,825 habitantes con servicio de agua potable. La cobertura de agua rural fue de 17.8% de las cuales se derivan los siguientes datos: Conexiones domiciliarias representan el 6.1% y 11.7% a través de pilas públicas y cantareras. De acuerdo a estadísticas de ANDA hasta el 2006 solo el 65% de la población a nivel nacional tenía acceso al agua potable dentro o fuera de la vivienda; sin embargo se reporta que el área rural la cobertura de agua potable fue de 34.4% (ANDA 2010).

Ante lo expuesto en el párrafo anterior, existen cifras oficiales del gobierno salvadoreño que incluyen conexiones ilegales, tales como: a la cañería del vecino, las pilas o chorros públicos, y los pozos comunes, como acceso aceptable a una “fuente mejorada de agua”. Si se aplicara una definición más estricta, restringiendo, por ejemplo, tal concepto a los hogares con conexión domiciliar a cañería (ya sea dentro o fuera de la vivienda), el porcentaje de hogares con acceso “aceptable” a una fuente mejorada de agua caería de 86 a 57.9% en todo el territorio nacional. Aplicando el mismo procedimiento a las zonas urbanas y rurales, el porcentaje de hogares con acceso aceptable a agua disminuiría de 94 a 73.4% en las primeras, y de 72.4 a 31.7% en las segundas (PNUD 2006).

La necesidad de inversión en el sector de agua potable y saneamiento es uno de los desafíos más grandes que el país afronta, solo para el año 2007 la inversión fue de 0.3% del PIB en agua potable y saneamiento, y para ampliar esta cobertura a todos los niveles del país se

necesita una inversión anual de 0.8% del PIB (Webquery 2016).

Lo anterior conlleva a definir que actualmente existe poco acceso al agua potable en el país y que requiere de varios sistemas o de una mejor administración para expandir el servicio de agua a nivel nacional.

5.5. Gestión integral del recurso hídrico

La Asociación Global del Agua (Global Water Partnership, GWP) define la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) como “un proceso que promueve el desarrollo y gestión coordinada del agua, la tierra y los recursos relacionados, con el fin de maximizar el resultante bienestar económico y social de una forma equitativa y sin comprometer la sostenibilidad de ecosistemas vitales” (Martínez Erades 2013).

La Política Nacional de Gestión Integral del Recurso Hídrico la cual fue elaborada por el Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales (MARN 2008), considera el agua como: a) bien de dominio público, a efecto de garantizar su gestión y aprovechamiento sostenible, b) un recurso limitado en la naturaleza, fundamental para la vida y el desarrollo de los ecosistemas y grupos humanos, c) prioridad para el consumo humano, y d) de interés público, prevaleciendo el interés colectivo sobre el particular

El Salvador se sitúa como uno de los países con la más baja disponibilidad de agua por habitante en Latinoamérica y el Caribe, superando únicamente a Haití y República Dominicana. La visión de la Política Nacional de la Gestión Integral del Recurso Hídrico se puede definir cuando se satisfacen las necesidades de agua en cantidad y calidad adecuada, con criterios de uso múltiple, equidad y eficiencia, promoviendo la preservación y conservación del medio ambiente enmarcado en el desarrollo sostenible.

5.6. Calidad de agua

En el periodo 2000-2004, el Servicio Nacional de Estudios Territoriales ha realizado el monitoreo de los principales ríos de la cuenca del río Lempa y han sido clasificados en calidad pésima o mala (MARN 2010).

Los parámetros de análisis que el Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales (MARN 2010) utilizó para investigar la calidad del agua de los ríos fueron: boro, cloruros, cobre,

coliformes fecales, color aparente, conductividad, demanda bioquímica de oxígeno, fenoles, nitratos, oxígeno disuelto, pH, sodio, sólidos totales disueltos, sulfatos, turbidez y zinc principalmente.

La situación de estos cuerpos de agua se explica porque en ellos se descargan los vertidos de las ciudades más importantes del país. 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 (MARN 2010).

En la mayoría de las zonas cubiertas por ANDA, el servicio de abastecimiento de agua es intermitente, variando entre 16 horas al día en algunas zonas, a menos de 4 horas al día e incluso a una vez cada cuatro días en otras, según lo revela la Encuesta Nacional de Salud Familiar. Sin embargo, casi todas las localidades parecen recibir agua al menos una vez al día, cuya calidad microbiológica es deficiente (MSPAS 2004).

Según el Ministerio de Salud (MINSAL), las diarreas, constituyen una de las primeras diez causas de muerte en el país seguida de enfermedades ocasionadas por los mosquitos y zancudos que en su mayoría se generan debido a que no existe en los ríos y demás, los depredadores naturales de estos. Las bacterias más frecuentes en las aguas contaminadas son las coliformes fecales (MSPAS 2004).

5.7. Contaminación del recurso agua.

El agua se contamina con los desechos expulsados a lagos, ríos, y mares. En San Salvador 145 empresas son las únicas que llevan control a sus desechos antes de expulsarlos (MARN 2015).

Una característica común de la contaminación en casi la totalidad de los sitios evaluados por el MARN, es la presencia de altas concentraciones de contaminación fecal por coliformes, situación que puede ser relacionada fácilmente con las condiciones de saneamiento básico prevalentes en las zonas de aporte. Adicionalmente, las condiciones de turbidez, color aparente y alta concentración de carga orgánica biodegradable con la consecuente disminución

de los niveles de oxígeno disuelto, hacen que la calidad ambiental del agua de la mayoría de los ríos sea deficiente para los usos evaluados (agua de consumo, riego y recreación). Las zonas donde la calidad del agua presenta condiciones más críticas se localizan principalmente aguas abajo de los centros poblacionales, zonas de actividad industrial y/o comercial, como consecuencia de las descargas de aguas residuales sin tratamiento y desechos sólidos que reciben en el trayecto, además de las zonas donde las condiciones de saneamiento básico son deficientes (MARN 2010).

La contaminación del agua se lleva a cabo desde el momento que se empieza a tirar basura en lugares no debidos y es ahí cuando la contaminación empieza a actuar, cuando caen las lluvias estos residuos se van acumulando a esas aguas generando un cambio en el color al momento que se satura de basura (MARN 2015).

5.8. Concepto de agua residual.

Es el agua que ha recibido un uso y cuya calidad ha sido modificada por la incorporación de agentes contaminantes y vertidas a un cuerpo receptor. Ellas son de dos tipos: Ordinario y Especial (CONACYT 2009).

5.8.1. Agua Residual de tipo Ordinario.

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.

Los parámetros deseados que el marco legal vigente establece para las aguas residuales ordinarias, se verifica en el cuadro 3, en ella se encuentran inmersos los límites máximos exigidos por la ley (CONACYT 2009)

5.8.2. Agua residual de tipo especial

Se definen las aguas residuales de tipo especial como: “agua residual generada por las actividades agroindustriales, industriales, hospitalarias y todas aquellas que no se consideran de tipo ordinario” (CONACYT 2009).

5.9. Inversión en saneamiento y depuración.

La Inversión en agua y saneamiento en El Salvador durante los últimos 10 años ha sido realizado por dos instituciones públicas, la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA) y el Fondo de Inversión Social para el Desarrollo Local (FISDL). Otras instituciones tienen algún rol en el tema pero no en inversión, por ejemplo, el Ministerio de Salud (MINSAL), tiene la competencia de la vigilancia de la calidad del agua para consumo humano, y el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN 2008) tiene el mandato legal de garantizar la disponibilidad de agua en cantidad y calidad suficiente, pero no realiza inversiones para acceso a agua potable y saneamiento, sus acciones se dirigen al ámbito de la normativa, y a lineamientos ambientales en coordinación con otras organizaciones; ANDA, en los últimos años, ha mantenido su presupuesto con pocas variaciones. Los destinos del mismo son: distribución de agua potable, saneamiento de aguas residuales, desarrollo de infraestructura, operación y administración. Sus inversiones en nuevas infraestructuras o en rehabilitación de las existentes son escasas. La falta de presupuestos suficientes para el mantenimiento y operación de las plantas de tratamiento de aguas residuales que administra, está suponiendo la degradación de dichas instalaciones. Las inversiones destinadas a la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales dependen en un alto porcentaje de fondos externos, fundamentalmente de la cooperación internacional (ANDA 2010).

5.10. Marco institucional de la depuración de aguas residuales

El MARN es el ente rector de la protección, conservación y mejoramiento de los recursos naturales, por lo cual le corresponde emitir los grandes lineamientos de la política hídrica. Por mandato de la Ley de Medio Ambiente está facultado para emitir Reglamentos especiales para la gestión, uso y protección de las aguas y ecosistemas (Artículo 70: “El Ministerio elaborará y propondrá al Presidente de la República para su aprobación los reglamentos necesarios para la gestión, uso, protección y manejo de las aguas y ecosistemas tomando en cuenta la legislación vigente y los criterios siguientes:

- a) Su manejo se realizará en condiciones que prioricen el consumo humano, guardando un equilibrio con los demás recursos naturales;
- b) Los ecosistemas acuáticos deben ser manejados tomando en cuenta las interrelaciones de sus elementos y el equilibrio con otros;

- c) Se promoverán acciones para asegurar que el equilibrio del ciclo hidrológico no sufra alteraciones negativas para la productividad, el equilibrio de los ecosistemas, la conservación del medio ambiente, la calidad de vida y para mantener el régimen climático;
- d) Asegurar la cantidad y calidad del agua, mediante un sistema que regule sus diferentes usos;
- e) Se establecerán las medidas para la protección del recurso hídrico de los efectos de la contaminación, y
- f) Todo concesionario de un recurso hídrico para su explotación será responsable de su preservación, identificar zonas de recarga acuífera (según el Artículo 71: El Ministerio identificará las zonas de recarga acuífera y promoverá acciones que permitan su recuperación y protección), así como promover el manejo integrado de cuencas, crear un Comité Interinstitucional para gestionarlas e incorporar a las autoridades locales de las mismas (Artículo 48: “El Ministerio promoverá el manejo integrado de cuencas hidrográficas, una ley especial regulará esta materia. El Ministerio creará un comité interinstitucional nacional de planificación, gestión y uso sostenible de cuencas hidrográficas. Además promoverá la integración de autoridades locales de las mismas) (MARN 2007).

Respecto a la temática de contaminación de aguas, el MARN está facultado para prevenir y controlar la contaminación según el artículo 43 de la ley (Artículo 43: El Ministerio elaborará, en coordinación con el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, los entes e instituciones del Sistema Nacional de Gestión del Medio Ambiente, programas para prevenir y controlar la contaminación y el cumplimiento de las normas de calidad.

Dentro de los mismos se promoverá la introducción gradual de programas de autorregulación por parte de los titulares de actividades, obras o proyectos), elaborar inventarios de emisiones y concentraciones en medios receptores según artículo 46 (Artículo 46: Para asegurar un eficaz control de protección contra la contaminación, se establecerá por parte del Ministerio en coordinación con el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social y con las autoridades competentes en materia de normatividad del uso o protección del agua, el aire y el suelo, la capacidad de estos recursos como medios receptores, priorizando las zonas del país más afectadas por la contaminación.

Para ello, recopilará la información que permita elaborar en forma progresiva los inventarios de emisiones y concentraciones en los medios receptores, con el apoyo de las instituciones integrantes del Sistema Nacional de Gestión del Medio Ambiente, a fin de sustentar con base científica, el establecimiento y adecuación de las normas técnicas de calidad del aire, el agua y el suelo), supervisar que la calidad de agua se encuentre dentro de lo establecido por las normas técnicas de calidad ambiental, así como garantizar el tratamiento previo de los vertidos según artículo 49 (Artículo 49: El Ministerio será responsable de supervisar la disponibilidad y la calidad del agua) (MARN 2007)

El MARN no es la única entidad que tiene competencia en saneamiento, el cuadro 1 se muestran otras entidades que tienen participación en la gestión del saneamiento y depuración de las aguas en El Salvador, con sus correspondientes competencias en esta materia y la base legal donde las cita:

Cuadro 1. Marco institucional de tratamiento y depuración de aguas residuales.

Institución	Competencias
Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN). Base legal art. 19-29, 46 y 49 Ley del Medio Ambiente	<ul style="list-style-type: none"> -Velar y hacer cumplir los instrumentos legales, con el propósito de proteger, conservar y recuperar el medio ambiente. -Control y prevención de la contaminación. -Coordinación con autoridades competentes. -Otorgar permiso ambiental de sistema de tratamiento de aguas residuales y re-uso. -Auditoría de evaluación ambiental. -Recibe informes operacionales de los sistemas de tratamiento.
Ministerio de Salud (MINSAL) Art. 56 y 69 Código de Salud	<ul style="list-style-type: none"> -Aprobar factibilidad de sistemas de aguas negras y grises individuales. -Vigilancia sanitaria y control de cumplimiento de normativa y guía técnica. -Educador y promotor de saneamiento. -Dependencia responsable: Unidad de Salud Ambiental a través de los programas institucionales: a) Disposición Sanitaria de Excretas y b) Tratamiento de aguas negras y grises.
Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA) Ley de ANDA, art. 17 del decreto 50.	<ul style="list-style-type: none"> -Provee servicios de alcantarillado. -Administrar plantas de tratamiento y disposición adecuada de aguas residuales de su alcantarillado. -Emisión de norma técnica para vertidos a su alcantarillado. -Control de vertidos descargados a su alcantarillado sanitario.
Fondo de Inversión Social para el Desarrollo Local (FISDL)	<ul style="list-style-type: none"> -Es la institución responsable de ejecutar las inversiones públicas en la zona rural, en las que se incluye agua y saneamiento.

Cuadro 1. Marco institucional de tratamiento y depuración de aguas residuales.

Institución	Competencias
Municipalidades Art. 4 y 7 Código Municipal	-Autoridad local facultada para promover y desarrollar programas de saneamiento ambiental. -Prestadora de servicios públicos. -Emitir ordenanzas municipales.
Ministerio de Economía (MINEC) Art. 19, 25 y 37 Reglamento Interior del Órgano Ejecutivo	-Aprueba tarifas por servicios de agua y alcantarillado sanitario de ANDA. -Aprueba la normativa técnica propuesta por CONACYT.
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)	-Formular y facilita la elaboración de normas técnicas sobre aguas residuales descargadas a un cuerpo receptor.

Fuente: MARN 2015.

5.11. Marco normativo y de planificación del saneamiento.

Existen alrededor de once instrumentos jurídicos relacionados con el manejo de aguas residuales y excretas, que se recogen en el cuadro 2. Los principales son, la Ley del Medio Ambiente (1998) y el Código de Salud (1988), además existen otros cuerpos legales que tienen impacto significativo a nivel sectorial como el Reglamento Especial de Aguas Residuales (2000) y la Norma Salvadoreña Obligatoria 13.41.01:09 (CONACYT 2009).

Cuadro 2. Marco normativo de planificación del saneamiento.

Instrumento legal	Fecha publicación	Autoridad competente
Ley de medio ambiente	Mayo 1998	MARN
Ley de Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA)	Octubre 1971 (modificado en 1980)	ANDA
Ley de Riego y Avenamiento	Noviembre 1970	MAG
Código de Salud. Saneamiento del ambiente urbano y rural	Abril 1988	MINSAL
Reglamento General de Medio Ambiente	Marzo 2000	MARN
Reglamento especial de Normas Técnicas de Calidad Ambiental	Mayo 2000	MARN
Reglamento Especial de Aguas Residuales	Mayo 2000	MARN
Reglamento sobre la Calidad del Agua, el control de vertidos y zonas de protección	Octubre 1987 (reformado marzo 1989)	MINSAL, ANDA, MAG, MOP
Norma Salvadoreña Obligatoria de Aguas Residuales a un Cuerpo Receptor	Marzo 2009	MARN
Norma para regular la calidad de las aguas residuales de tipo especial descargadas al alcantarillado sanitario	Octubre 2004	ANDA

Fuente: MARN 2015.

El avance más representativo de las iniciativas legales en el sector según el Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales (MARN 2008) , es la presentación del Anteproyecto de Ley General de Aguas (marzo 2012) que está en proceso de consulta y discusión en la Asamblea Legislativa.

El MARN, en el proceso de Evaluación Ambiental, previo a la resolución del Permiso Ambiental, debe revisar y aprobar los sistemas de tratamiento de aguas residuales tanto para las de carácter ordinario o domésticas, como para las de tipos especiales provenientes de las actividades industriales. Adicionalmente, el MARN tiene la responsabilidad del seguimiento a la operación y mantenimiento de los sistemas colectivos de tratamiento de aguas residuales a través de los Informes Anuales Operacionales, las Inspecciones de Cumplimiento Ambiental y las Auditorias de Evaluación Ambiental, con base en la Norma Salvadoreña Obligatoria de Aguas Residuales Descargadas a Cuerpos Receptores.

Legalmente, ANDA es responsable de establecer las normas técnicas para el diseño de los sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales. Los planes y estudios de tratamiento de las aguas servidas, según el Código de Salud, serán sometidos al Ministerio de Salud (MINSAL) para la aprobación respectiva.

ANDA, en su Ley de creación y el decreto 50, norma y regula los sistemas de tratamiento secundarios y terciarios para aguas residuales de tipo ordinario (Artículo 3, literal “I”, numeral 2: “Construir y reconstruir, mediante contrato, previa licitación o bajo la dirección de sus propios funcionarios, agentes o empleados, o por conducto o mediación de los mismos, toda clase de obras e instalaciones relacionadas con: el estudio, investigación, evacuación, tratamiento y disposición final de las aguas residuales) (ANDA 1961).

Es importante señalar que para el Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales (MARN 2015) en los aspectos institucional y administrativo, ANDA tiene limitaciones importantes para la prestación del servicio de tratamiento de aguas residuales y el manejo de excretas, principalmente en lo relacionado a planes de inversión, centralización y aspectos relacionados con el establecimiento de las tarifas, lo que puede predecir un modelo de gestión no sostenible. Sus limitaciones presupuestarias son evidentes, lo que impide llevar a cabo sus obligaciones derivadas de la operación y mantenimiento de las plantas de aguas residuales urbanas que gestiona.

Existen estudios nacionales sobre plantas de tratamiento donde se reflejan buenos resultados de algunos modelos de gestión; sin embargo, no existe un sistema integral que se pueda considerar como modelo de réplica en el país. El Estado no ha desarrollado mecanismos efectivos para monitorear y evaluar el desempeño de los sistemas públicos y privados de saneamiento.

La Ley de Medio Ambiente data de 1998 y es la que define el régimen sancionador para los delitos medioambientales. Actualmente no hay canon ni tasa asociados a la autorización de vertido, ni por su solicitud ni por la emisión, siendo estos costos asumidos por la propia administración, ya que según el artículo 85: “Quien por acción u omisión, realice emisiones, vertimientos, disposición o descarga de sustancias o desechos que puedan afectar la salud humana, ponga en riesgo o causare un daño al medio ambiente, o afectare los procesos ecológicos esenciales o la calidad de vida de la población, será responsable del hecho cometido o la omisión, y estará obligado a restaurar el medio ambiente o ecosistema afectado. En caso de ser imposible esta restauración, indemnizará al Estado y a los particulares por los daños y perjuicios causados”. Se puede concluir que existe una dispersión normativa que regula el sector saneamiento, careciendo de una articulación entre las instituciones implicadas. También se tiene una débil conciencia política para cumplir la legislación existente, a lo que se agrega la limitación financiera para ejecutar inversiones (MARN 2015).

5.12. Estrategia Nacional de Saneamiento Ambiental

Hasta el 2012 no ha existido un plan de inversión nacional ni una política común respecto al tratamiento de aguas residuales. La Estrategia Nacional de Medio Ambiente del Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales (MARN 2015), es uno de los instrumentos de la política nacional para la protección del medioambiente y reducción de la vulnerabilidad frente al cambio climático.

Es dentro de este marco se encuentra la Estrategia Nacional de Saneamiento Ambiental (ENSA). Esta estrategia pretende adoptar un nuevo concepto de saneamiento ambiental con un enfoque más integral y ser reconocido como “el conjunto de acciones al medio físico, con énfasis en la prevención y el control de factores ambientales que podrían afectar potencialmente la salud de la población, entendiendo que salud no es solamente la ausencia de enfermedad, sino el estado de completo bienestar físico, mental y social”.

Una mejor cobertura de saneamiento permitiría evitar el 41% de las muertes por infecciones de las vías respiratorias inferiores y 94% de las muertes por enfermedades diarreicas, dos de las principales causas de mortalidad en la niñez en todo el mundo (MINSAL 2004).

En los últimos veinte años se han realizado importantes esfuerzos a nivel mundial para incrementar el porcentaje de población con acceso a servicios de saneamiento básicos. A pesar de ello, en la actualidad todavía hay unos 2.600 millones de personas que carecen de estos servicios, es decir, más de un tercio de la población mundial no dispone de acceso al saneamiento.

Existen importantes divergencias entre regiones en relación al acceso a este servicio básico. Mientras que en los países desarrollados se considera que toda la población (99%) dispone de un adecuado saneamiento, en los países en vías de desarrollo, el porcentaje se reduce considerablemente siendo sólo del 52% (Hernández Sancho F.; Molinos Senante M.; Sala Garrido R. 2012).

En el año 2008, 794 millones de personas sin acceso a saneamiento vivían en áreas urbanas mientras que 1856 millones lo hacían en áreas rurales. Estas cifras indican que 7 de cada 10 personas sin acceso al saneamiento viven en áreas rurales. De los 1300 millones de personas que accedieron al saneamiento durante el periodo de 1990 a 2008, el 64% de ellas vivían en áreas urbanas. No obstante, a pesar de que las áreas urbanas están mejor servidas que las áreas rurales, se enfrentan al problema del continuo crecimiento de la población urbana (Hernández Sancho F.; Molinos Senante M.; Sala Garrido R. 2012).

5.13. Normativas sobre límites de vertido de aguas residuales en El Salvador

Por su importancia en el tipo de tratamientos a implementar, objeto fundamental de este trabajo, se hace énfasis en la Norma Salvadoreña Obligatoria de Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor, 13.49.01:09 2009, del 15 de octubre de 2009.

La Norma Salvadoreña de Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor NSO 13.49.01:09 2009 establece las características y valores permisibles que debe presentar el agua residual para proteger los cuerpos receptores.

Cuadro 3. Límites de vertido para las aguas residuales urbanas en la Norma Salvadoreña de aguas residuales ordinarias a un cuerpo receptor 13.49.01:09 2009 (CONACYT 2009).

Parámetro	Valor máximo admisible
DBO ₅	60 mg/l
DQO	150 mg/l
Sólidos en suspensión	60 mg/l
Fosfatos	45 mg/l
*Nitratos	N/E
Coliformes fecales	2.000 NMP/100 ml
Coliformes totales	10.000 NMP/100 ml
pH	5.5-9.0

Fuente: CONACYT 2009. *N/E= No Especifica

5.14. Situación de la depuración de aguas residuales en El Salvador

Según la Encuesta de Hogares de Propósitos Múltiples (DIGESTYC 2010), la población de El Salvador con acceso a sistemas sanitarios para la evacuación de excretas o de aguas residuales es de 5,934,000 habitantes (96% de la población total), bien utilizando sistemas de colectores o sistemas individuales. La población con cobertura de alcantarillado sanitario es de 2,843,446 habitantes (46% de la población total), de los cuales el 72% pertenece a zonas urbanas.

5.15. Transmisión de enfermedades por aguas contaminadas

Se puede realizar a través de cuatro mecanismos:

1. Ingestión de aguas contaminadas con desechos fecales que podrían propagar virus, bacterias y protozoarios; además metales pesados que pueden traer efectos adversos a salud del consumidor (OMS 2009).
2. Por contacto con aguas contaminadas con microorganismos: *Pseudomonas aeruginosa*, *Aeromonas spp.*, y amebas como *Acanthamoeba sp.* y *Naegleria sp.*, que pueden causar meningoencefalitis.
3. Por inhalación de aerosoles contaminados con bacterias como *Legionella sp.* y *Micobacterium sp.*, provocando neumonías y otros tipos de afecciones.

4. Por contacto del agua contaminada con sustancias tóxicas con heridas superficiales, facilitando la expansión de gérmenes y metales pesados por el torrente sanguíneo (OMS 2004).

5.16. Contaminantes en el agua

5.16.1. Contaminación bacteriológica

Para la Organización Mundial de la Salud (OMS 2004) la presencia y la extensión de la contaminación fecal es un factor importante en la determinación de la calidad del agua. Las heces contienen una variedad de microorganismos y formas de resistencia de algunos de éstos, involucrando organismos patógenos, los cuales son un riesgo para la salud pública al entrar 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 del índice de contaminación. Dada la limitada capacidad de algunos miembros del grupo coliforme para sobrevivir en aguas tratadas, su presencia puede emplearse para estimar el grado de contaminación fecal que involucran organismos patógenos intestinales bacterianos, virales y parasitarios.

Las bacterias coliformes son organismos indicadores de la presencia de contaminación fecal, debido a que habitan en el tracto intestinal de los animales vertebrados y por tanto encontrarse grandes cantidades de éstas en las heces de dichos animales. Se caracterizan por su capacidad de fermentar lactosa a 35° C, los géneros que componen el grupo son: *Escherichia*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Serratia*, *Citrobacter* y *Edwardsiella*. Todas pueden existir como saprófitas independientes o como microorganismos intestinales, excepto el género *Escherichia* cuyo origen es casi exclusivamente fecal.

Estas diferencias han llevado a la necesidad de distinguir entre coliformes totales: grupo que incluye a todos los Coliformes de cualquier origen; y Coliformes fecales: término que designa a los Coliformes de origen exclusivamente intestinal, con capacidad de fermentar lactosa a 44.5° C, cuyo representante es la *Escherichia coli*.

Debido a que un gran número de enfermedades son transmitidas por vía fecal-oral utilizando como vehículo los alimentos y el agua, es necesario contar con microorganismos que

funcionen como indicadores de contaminación fecal. Éstos deben de ser constantes, abundantes y exclusivos de la materia fecal, deben tener una sobrevivencia similar a la de los patógenos intestinales y debe de ser capaces de desarrollarse extraintestinalmente. El grupo coliforme es constante, abundante y casi exclusivo de la materia fecal, sin embargo, las características de sobrevivencia y la capacidad para multiplicarse fuera del intestino también se observa en aguas potables, por lo que el grupo coliforme se utiliza como indicador de contaminación fecal en agua; conforme mayor sea el número de coliformes en agua, mayor será la probabilidad de estar frente a una contaminación reciente. Cuando los coliformes llegan a los alimentos, no sólo sobreviven, sino que se multiplican, por lo que en los alimentos el grupo coliforme adquiere un significado distinto al que recibe en el agua. En productos alimenticios que han recibido un tratamiento térmico (pasteurización, horneado, cocción, etc.), se utilizan como indicadores de malas prácticas sanitarias. Los microorganismos coliformes constituyen un grupo heterogéneo con hábitat primordialmente intestinal para la mayoría de las especies que involucra. El grupo de bacterias coliformes totales comprende todos los bacilos Gramnegativos aerobios o anaerobios facultativos, no esporulados, que fermentan la lactosa con producción de gas en un lapso máximo de 48 h. a $35^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ (Camacho, A; Giles, M; Ortegón, A; Palao, M; Serrano, B; Velázquez, O 2009).

5.16.2. Contaminación físico-química.

En este apartado, se mencionan algunos parámetros más relevantes en la contaminación físico-química del agua, entre los cuales se mencionan según definición de la APHA (APHA 2012):

a) Residuos de químicos orgánicos

Se encuentran las moléculas de insecticidas y pesticidas, aceites, grasas y solventes orgánicos, por ejemplo: benceno, acetileno, fenol, endrin, lindano, otros.

b) Residuos de químicos inorgánicos

Sustancias no compuestas por cadenas largas de hidrocarburos, entre las cuales se pueden mencionar sólidos totales disueltos, manganeso, hierro, nitratos, sulfatos, halógenos, entre otros.

c) Metales pesados

Son átomos metálicos los cuales son altamente dañinos para la salud del ser humano, entre ellos se pueden mencionar: arsénico, boro, cobre, cadmio, plomo, mercurio, entre otros.

5.17. Parámetros físico-químicos de las aguas residuales ordinarias.

Los parámetros físico-químicos exigidos por el MINSAL apoyados por la APHA (APHA 2012) cuando aprueba factibilidades y autorizaciones para abastecimiento, cuyos límites máximos están contemplados en la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.49.01:09 para Aguas Residuales de Tipo Ordinarias (CONACYT 2009).

5.17.1 pH

El pH o la actividad del ión hidrógeno indica a una temperatura dada, la intensidad de las características ácidas o básicas del agua, mide la concentración de iones hidronio presentes en el agua. Se determina con la ayuda de un medidor de pH, el cual consta de un electrodo de vidrio que genera una corriente eléctrica proporcional a la concentración de protones de la solución y que se mide en un galvanómetro.

5.17.2 Temperatura

Es un parámetro físico que afecta mediciones de otros como pH, alcalinidad o conductividad. Las temperaturas elevadas resultantes de descargas de agua caliente pueden tener un impacto ecológico significativo, por lo que la medición de la temperatura del cuerpo receptor resulta útil para evaluar los efectos sobre éste. Las mediciones se pueden efectuar con cualquier termómetro centígrado de mercurio; debe ser siempre registrada en el campo y hasta una temperatura constante.

5.17.3 Sólidos totales disueltos

La determinación de los sólidos sedimentables permite estimar los contenidos de materias disueltas y suspendidas presentes en un agua, pero el resultado está condicionado por la temperatura y la duración de la desecación.

5.17.4. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) es una prueba usada para la determinación de los requerimientos de oxígeno para la degradación bioquímica de la materia orgánica en las aguas municipales, industriales y en general residuales; su aplicación permite calcular los efectos de las descargas de los efluentes domésticos e industriales sobre la calidad de las aguas de los cuerpos receptores. Los datos de la prueba de la DBO₅ se utilizan en ingeniería para diseñar las plantas de tratamiento de aguas residuales.

5.17.5. Oxígeno disuelto

El oxígeno presente en el agua procede de la disolución del oxígeno atmosférico y de la actividad fotosintética de los organismos acuáticos. Este oxígeno es consumido por organismos heterótrofos y autótrofos produciéndose un balance dinámico en la concentración de oxígeno en el agua.

5.17.6. Nitratos

Es una sal química derivada del nitrógeno que, en concentraciones bajas, se encuentra de forma natural en el agua y el suelo.

Desde hace tiempo se ha puesto de manifiesto que el principal efecto perjudicial para la salud derivado de la ingesta de nitratos y nitritos es la metahemoglobinemia, es decir, un incremento de metahemoglobina en la sangre, que es una hemoglobina modificada (oxidada) incapaz de fijar el oxígeno y provoca limitaciones de su transporte en los tejidos.

En condiciones normales hay un mecanismo enzimático capaz de restablecer la alteración y reducir la metahemoglobina otra vez a hemoglobina.

5.17.7. Fosfatos

El grupo fosfato es un ion poliatómico de fórmula empírica PO_4^{3-} y una masa molecular de 94,97 daltons; está compuesto por un átomo central de fósforo rodeado por cuatro átomos idénticos de oxígeno en disposición tetraédrica. El ion fosfato tiene una carga formal negativa y es la base conjugada del ion hidrogenofosfato HPO_4^{2-} , que a su vez es la base conjugada del ion dihidrógeno fosfato H_2PO_4^- , a su vez base conjugada del ácido fosfórico H_3PO_4 . Es una

molécula polivalente (el átomo de fósforo tiene 5 electrones en su capa de valencia). El fosfato es también un compuesto organofosforado con fórmula $OP(OR)_3$.

Otro tipo de reacciones en el cuerpo humano son posibles enfermedades que se dan por el uso de hidróxido de sodio y otros productos utilizados en el proceso de sulfonación. Los fosfatos pueden producir desórdenes digestivos y descalcificaciones en los niños.

5.18. Microorganismos de montaña

Según la Fundación para el Desarrollo Económico y Restauración Ambiental (FUNDESYRAM 2016), los microorganismos de montaña (MM) contienen un promedio de 80 especies, de unos 10 géneros, que pertenecen básicamente a cuatro grupos:

1. Bacterias fotosintéticas: que utilizan la energía solar en forma de luz y calor, y sustancias producidas por las raíces, para sintetizar vitaminas y nutrientes. Cuando se establecen en el suelo producen un aumento en las poblaciones de otros microorganismos eficaces, como los fijadores de nitrógeno, los actinomicetos y las micorrizas.

En un suelo degradado debido al abuso de agroquímicos, la actividad de los microorganismos es casi ausente, mientras que en un suelo fértil, la fauna y la flora microbiana presentes son las encargadas de regular los procesos de intercambio entre el suelo y las plantas. Las bondades de los microorganismos pueden ser aprovechadas bajo el enfoque de la agricultura ecológica, para dinamizar el proceso de transición de los suelos degradados hasta conseguir la restauración del equilibrio biológico del suelo.

El uso de la tecnología de microorganismos para la agricultura fue desarrollada en los años 80 por un japonés, el Dr. Teruo Higa y fue ganando popularidad a través de los productos comerciales elaborados en laboratorios y conocidos como EM (microorganismos eficaz).

Por otro lado, se desarrolló una tecnología para reproducir los microorganismos que viven naturalmente en los bosques. Estos microorganismos son llamados comúnmente “microorganismos de montaña” o MM, tal y como se contemplan en la figura 1, 2 y 3. Muchos de estos MM cumplen roles benéficos en los procesos biológicos de los suelos y agroecosistemas, y pueden ser encontrados en la capa superficial y orgánica de todo suelo de un ecosistema natural donde no haya habido intervención depredadora de las personas.

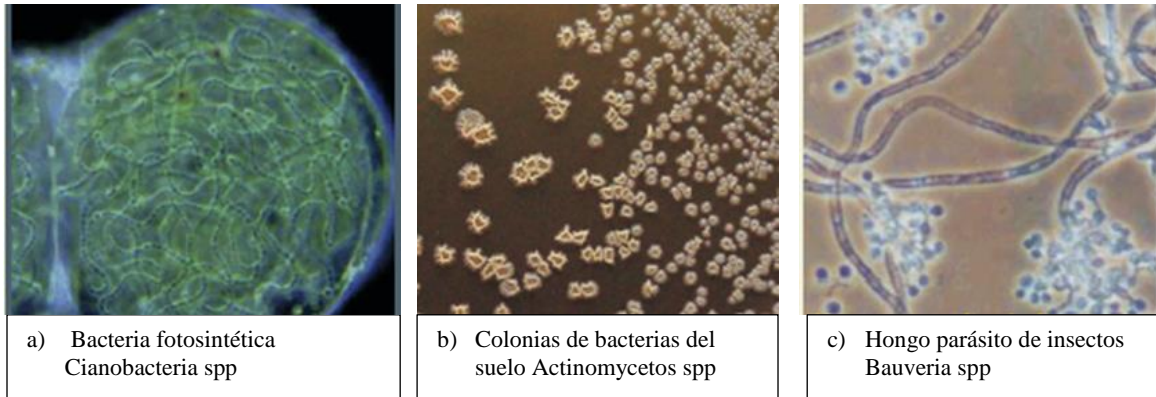


Figura 1. Diferentes tipos de bacterias y hongos existentes en los microorganismos de montaña. Fuente: FUNDESYRAM 2016

2. *Actinomycetos*: hongos benéficos que controlan hongos y bacterias patógenas (causantes de enfermedades) y que dan a las plantas mayor resistencia frente a estos a través del contacto con patógenos debilitados.

3. Bacterias productoras de ácido láctico: el ácido láctico posee la propiedad de controlar la población de algunos microorganismos, como el hongo *Fusarium*. Además, mediante la fermentación de materia orgánica, elaboran nutrientes para las plantas.

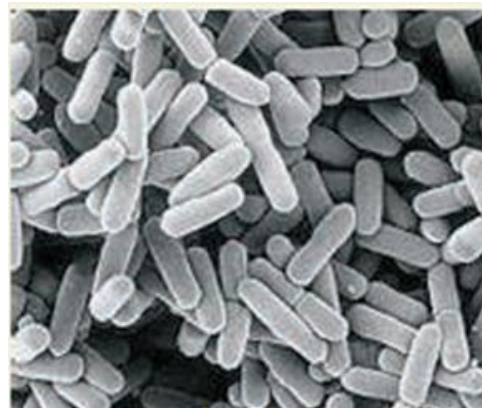


Figura 2. *Lactobacillus* sp. presente en los microorganismos de montaña.

4. Levaduras: bacterias que utilizan sustancias que producen las raíces de las plantas y otros materiales orgánicos, para sintetizar vitaminas y activar otros microorganismos del suelo.

Fuente: FUNDESYRAM 2016

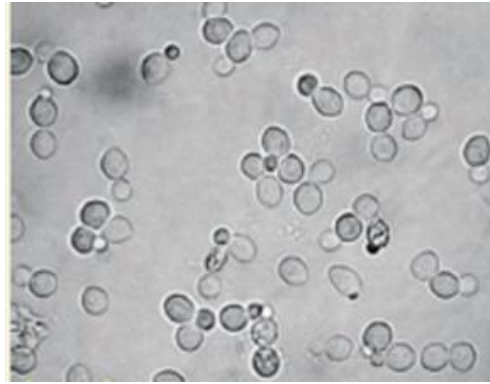


Figura 3. Levaduras *Saccharomyces cereviceae* presentes en los microorganismos de montaña.

Fuente: FUNDESYRAM 2016

5.18.1. Propiedades de los microorganismos de montaña (MM)

Citando la investigación de FUNDESYRAM 2016, entre las propiedades de los microorganismos de montaña, se pueden mencionar:

a) Descomponen la materia orgánica, b) compiten con los microorganismos dañinos, c) reciclan los nutrientes para las plantas, d) fijan el nitrógeno en el suelo, e) degradan las sustancias tóxicas, y, f) producen sustancias y componentes naturales que mejoran la textura del suelo.

5.18.2. Método artesanal de recolección del inóculo de los microorganismos de montaña

Buscar un bosque natural con zonas protegidas del sol, con humedad relativa promedio a nivel nacional y donde no haya habido intervención de las personas durante años (figura 4).

Separar la primera capa de hojas y materiales caídos de los árboles (2 cm), que todavía no han comenzado su descomposición y recolectar la segunda capa que contiene muchos microorganismos. De las muestras que escogerán, se recomienda descartar las que contengan cepas de color oscuro, debido a que hay mayor materia orgánica descompuesta, pero no existe mayor actividad microbiológica que sirva de inóculo.



Figura 4. Recolección de microorganismos de montaña. Fuente: FUNDESYRAM 2016.

5.19. Reproducción y activación de los microorganismos de montaña

5.19.1. Fase sólida

Para la fase sólida de captura y reproducción de los microorganismos de montaña, se requiere de ciertos materiales, como:

- Inóculo de microorganismos,
- Fuente de carbohidrato como sustrato y energía,
- Adición de azúcar como energía.

Para la fase líquida se requiere:

- Inóculo de microorganismos de montaña sólidos,
- Fuente de Azúcar como energía,
- Agua limpia (sin cloro).

Una vez se haya obtenido el material que contiene los microorganismos de montaña, se procede a desarrollar lo siguiente:

- Un bidón o cilindro de 100 litros con tapa hermética.
- Sustrato de montaña (2 sacos).
- Harina o afrecho de trigo, maíz, haba, arroz (1 saco).
- Melaza o azúcar (1 galón).
- Agua limpia sin cloro.

-En un piso limpio de cemento o plástico mezclar bien la tierra de bosque con microorganismos de montaña y la harina que se utiliza como sustrato (figura 5).

-Mojar la mezcla con el agua de melaza o azucarada removiendo constantemente hasta que la mezcla llegue al punto de la prueba del puño (con una consistencia semi sólida).



Figura 5. Proceso de reproducción de microorganismos de montaña en fase sólida.

Fuente: FUNDESYRAM 2016

-Colocar la mezcla preparada en el balde o bidón compactado hasta llenarlo. La finalidad de compactar la mezcla es desalojar todo el aire posible del recipiente, pues de esa manera se crean las condiciones para la reproducción de los MM (reproducción anaeróbica) (figura 6).

-Cerrar herméticamente y dejar fermentar bajo sombra. Después de 30 a 35 días se puede activar en fase líquida. Los microorganismos en fase sólida pueden mantenerse durante más de 1 año en estas condiciones (FUNDESYRAM 2016).



Figura 6. Compactación de mezcla y creación de condiciones anaeróbicas de los MM.

5.19.2. Fase líquida

A continuación se describen los insumos y materiales necesarios para llevar de la fase sólida a la fase líquida a los microorganismos de montaña (figura 7).

a) Insumos:

-Un bidón o cilindro de 120 litros con tapa hermética.

-4 kg de MM sólido.

-1 galón de melaza o 5 kg de azúcar.

-1 costal limpio (se usará como colador).

-100 litros de agua sin cloro (manantial o lluvia).

b) Procedimiento:

-Llenar el bidón de 120 litros con agua y 1 galón de melaza.

-Preparar un costal (tipo malla o rafia) con 4 kilos de microorganismos de montaña sólido y colocarlo en el cilindro.

-Mantener el recipiente bajo sombra. A los 4 días se desarrollan hongos, a los 8 días las bacterias y a los 15-25 días las levaduras. El agua tomará el color y olor a fermentado (FUNDESYRAM 2016).



Figura 7. Coloración final de fase líquida en reproducción de microorganismos de montaña.

Según FUNDESYRAM 2016, en fase líquida, los microorganismos de montaña pueden aplicarse al suelo de manera directa, vía sistemas de riego por goteo en grandes volúmenes de descarga. Las aplicaciones se pueden iniciar desde la preparación del suelo y continuar hasta llegar al manejo del cultivo.

De los cinco a los nueve días, los microorganismos de montaña se aplican al follaje de los cultivos para el control de plagas y enfermedades. Los expertos en el tema indican que en ese momento es cuando existe mayor cantidad de hongos y bacterias benéficas que actúan sobre los microorganismos que causan enfermedades a los cultivos.

Para aplicar al follaje de los cultivos, se pueden realizar concentraciones al 100% de microorganismos de montaña para el control de plagas y enfermedades, como, por ejemplo: mildius en chile pimiento. Cabe recordar que los s microorganismos de montaña (MM) son un cultivo de microorganismos benéficos que no causan daños a los cultivos ni a los suelos donde se aplican. De los 10 a los 14 días se pueden aplicar al suelo por diferentes sistemas de riego, sobre todo cuando existe gran cantidad de residuos de cosecha, lo cual contribuye a su degradación rápida y a aumentar la actividad microbiológica del suelo.

Aplicaciones directas al suelo para mejorar la actividad microbológica:

Aplicar 1 tonel o barril de 200 litros de capacidad en una manzana de terreno. Los microorganismos de montaña ayudan a descomponer los residuos de cosecha en su parcela, por eso, entre más residuos existan en el suelo de la parcela, aplique más de la solución antes mencionada al 100% de concentración, es decir, sin mezclarlo con agua.

De los 14 a los 20 días de haber sido activados, los microorganismos de montaña se deben incorporar en la elaboración de bocashi. Se utilizan para aplicar la semilla de microorganismos benéficos, especialmente las levaduras contenidas en mayores cantidades, a partir del día 14 de haber sido activados los microorganismos de montaña.

En el pasto fermentado se utilizan al momento de elaborarlos, para humedecer la mezcla de pasto junto con la semolina de arroz, y aplicar microorganismos benéficos que contribuyen a la fermentación de los materiales (FUNDESYRAM 2016).

5.20. Generalidades de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Ordinarias (PTAR)

Un sistema de Tratamiento de Aguas Residuales es la representación de un conjunto de procesos, situaciones, fenómenos, elementos y relaciones mediante diagramas para mostrar sus interacciones y la forma en que se encuentra organizado. Se dice que un sistema es complejo cuando la dependencia entre los elementos que lo conforman no permiten su funcionamiento óptimo de manera individual, es decir, que los procesos o relaciones que determinan su funcionamiento no se pueden modificar de forma aislada debido a que la dependencia existente entre ellos es tal, que se deben de analizar como un conjunto de interacciones para de esta manera poder modificar el sistema (Mendoza López 2015).

En el caso del proceso de tratamiento de aguas residuales que se realiza en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) se considera un sistema complejo, ya que una vez inicia la fase de operación se generan nuevos procesos no previstos y la relación dependiente de sus subprocesos exige su análisis desde la complejidad para encontrar estrategias factibles de resolución a los nuevos impactos sociales y ambientales generados.

Las PTAR emiten gases que se mezclan y que al combinarse con las condiciones atmosféricas, generan olores que molestan a los habitantes cercanos de las PTAR. Adicionalmente los lodos residuales derivados del proceso de tratamiento representan un problema de manejo y disposición final que a su vez genera contaminación ambiental y suele implicar cerca de 45% del gasto anual para los operadores (Mendoza López 2015).

5.20.1 Componentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Ordinarias de San Luis Talpa

Según Domínguez Ollero 2015, se definen las diferentes unidades de tratamiento que deben estar presentes, así como sus diferentes dimensiones. De esa manera se mencionan las siguientes estaciones:

1. Desarenador

Las dimensiones del desarenador en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de San Luis Talpa son 2.4 metros de canal antes de llegar al desarenador y 10 metros de longitud posterior a este. En esta unidad se debe separar todo aquel material de origen inorgánico que aparezca en las aguas residuales ordinarias que ingresan a la planta de tratamiento (figura 8).

El desarenador tiene como objetivo eliminar partículas más pesadas que el agua, que no se hayan retenido en el desbaste. De este modo, se consiguen proteger los equipos de procesos posteriores ante la abrasión, atascos y sobrecargas (Mendoza López 2015).



Figura 8. Desarenador en PTAR San Luis Talpa.

2. Sedimentador primario y secundario

El objetivo principal de los sedimentadores es favorecer la decantación de la mayor cantidad de sólidos posibles que se encuentran en esta unidad, además de reducir entre el 40% al 60% la cantidad de sólidos suspendidos y en un 30-35% la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO).

El tratamiento primario presenta diferentes alternativas según la configuración general y el tipo de tratamiento que se haya adoptado. Se puede hablar de una sedimentación primaria como último tratamiento o precediendo un tratamiento biológico, de una coagulación cuando se opta por tratamientos de tipo físico-químico.

La sedimentación primaria se realiza en tanques ya sean rectangulares o cilíndricos en donde se remueve de un 60% a 65% de los sólidos sedimentables y de 30% a 35% de los sólidos suspendidos en las aguas residuales. En la sedimentación primaria el proceso es de tipo floculento y los lodos producidos están conformados por partículas orgánicas.

Un tanque de sedimentación primaria tiene profundidades que oscilan entre 3 y 4 m, cuyos tiempos de detención oscilan entre 2 y 3 horas. En estos tanques el agua residual es sometida a condiciones de reposo para facilitar la sedimentación de los sólidos sedimentables. El porcentaje de partículas sedimentadas puede aumentarse con tiempos de detención más altos, aunque se sacrifica eficiencia y economía en el proceso (figura 9); las grasas y espumas que se forman sobre la superficie del sedimentador primario son removidas por medio de rastrillos que ejecutan un barrido superficial continuo (Mendoza López 2015).



Figura 9. Sedimentador Primario de la PTAR San Luis Talpa.

3. Filtro biológico o percolador

En la PTAR de San Luis Talpa, se utiliza un biofiltro (figura 10) de material granular filtrante de manera tal que haya degradación por parte de las bacterias que trabajan adheridas a este material. A estas bacterias se les conoce también con el nombre de “zooglea”, que permiten la estabilización de la materia orgánica. La utilización implica producción de biomasa y la oxidación parcial o total del contaminante. A su vez, la biomasa, bajo ciertas condiciones sufre una oxidación por respiración endógena . De esta manera, los procesos de biofiltración dan lugar a una descomposición completa de los contaminantes, creando productos no peligrosos (Mendoza López 2015).



Figura 10. Biofiltro en PTAR San Luis Talpa.

4. Digestor de lodos

La información técnica obtenida en la PTAR de San Luis Talpa, indica el uso de un digestor de lodos (figura 11) que pasan alrededor de 30 a 45 días en dicha unidad antes de ser pasados a los patios de secado, sin embargo, la teoría, sugiere un período de 3 a 4 meses en esta unidad (Mendoza López 2015).



Figura 11. Digestor de lodos PTAR San Luis Talpa.

5. Patios de secado

El tiempo promedio en el cual los lodos provenientes del proceso de tratamiento de aguas residuales deben permanecer en el patio de secado (figura 12) es de 2 meses (uno en operación y otro en espera de recepción de lodos). Durante la época lluviosa, los procesos de secado pueden aumentar su período al doble debido, a la precipitación promedio anual (1,500 milímetros) de El Salvador.



Figura 12. Patios de secado PTAR San Luis Talpa.

VI. Metodología.

6.1. Ubicación del estudio

La investigación se llevó a cabo en el municipio de San Luís Talpa, departamento de La Paz (figura 13), el cual, tiene un área de 65,96 km², y el casco urbano una altitud de 45 metros sobre nivel del mar. Las coordenadas del municipio son: 13° 28' 0" N, 89° 5' 0" O.

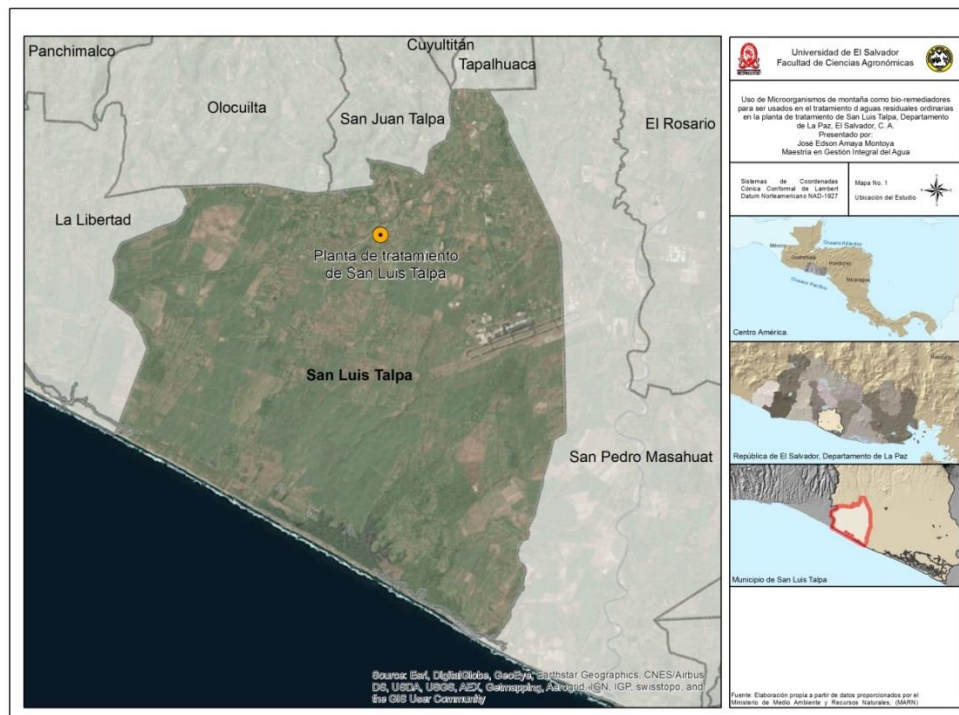


Figura 13. Ubicación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de San Luís Talpa.

6.2. Metodología de campo

La captura de los microorganismos de montaña se realizó en la zona protegida del cantón Arenales, municipio de Santa Elena, departamento de Usulután.

Para la reproducción de microorganismos de montaña en fase sólida se utilizó afrecho, melaza, barril o depósito con capacidad de 52 galones y tapadera y condiciones anaeróbicas durante 35 días. La transición de los microorganismos de montaña de fase sólida a líquida, se llevó a cabo usando 10 libras (5 kilogramos) de MM en fase sólida, 200 litros de agua sin cloro, melaza, los cuales fueron depositados en un barril con tapadera y en condiciones anaeróbicas.

Cada mes se hizo el inóculo de los microorganismos de montaña en los recipientes que contienen T0 (testigo sin micro organismos de montaña), T1 (3% de microorganismos de

montaña en fase líquida), T2 (5% de microorganismos de montaña en fase líquida) y T3 (10% de microorganismos de montaña en fase líquida).

- El punto de muestreo fue en el tanque sedimentador primario de la planta de tratamiento (figura 14).
- Se usaron sesenta depósitos de 1 litro de capacidad cada uno, veinte depósitos de 1 galón y sesenta recipientes de 100 mililitros, los cuales se llenaron con el agua que se encuentra en el sedimentador primario (un testigo y tres tratamientos).
- Se recolectaron 20 muestras de agua una vez por mes de los recipientes con los cuatro diferentes tratamientos y sus cinco repeticiones.
- La obtención de las muestras, fue de manera simple y en diferentes tiempos.
- A los tratamientos del 1 al 3 se aplicó el inóculo en base a volumen y se dejaron transcurrir cuatro días entre el muestreo y análisis. En el caso del testigo, el muestreo y análisis fueron el mismo día llevando las muestras al laboratorio del Departamento de Química Agrícola de la facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador.
- Los análisis bacteriológicos fueron realizados una vez por mes durante los 4 meses de la investigación para ver el comportamiento de Coliformes totales y Coliformes fecales.



Figura 14. Obtención de muestras en sedimentador primario por el investigador en 2018.

6.3. Número de muestras de agua a recolectar

Se tomaron 20 muestras simples de agua para analizar los parámetros biológicos tales como: coliformes fecales y totales, además de analizar los siguientes parámetros químicos: pH, sólidos totales disueltos, demanda bioquímica de oxígeno, temperatura, nitratos, fosfatos y oxígeno disuelto. Al finalizar el tiempo de investigación, se analizaron 60 muestras en total (figura 15).



Figura 15. Llenado de los contenedores con agua residual por el investigador en 2018.

6.4. Aspectos técnicos de las tomas de muestras

Se tomaron 60 muestras en recipientes de polietileno con capacidad de 1 litro. Para recolectar la muestra, se enjuagaron los frascos de dos a tres veces con el agua a muestrear para ambientar el frasco, los cuales se llenaron, taparon y rotularon debidamente para su posterior traslado al laboratorio de Química Agrícola de la facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador (UES) donde se hicieron los análisis de los parámetros físico-químicos.

Todas estas muestras, se colocaron inmediatamente en una hielera para inducir la cadena de frío a una temperatura de $\pm 4^{\circ}\text{C}$ y proteger las muestras durante el transporte hacia el laboratorio Química Agrícola de la facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador y el CID-ANDA, para el análisis de parámetros bacteriológicos (figura 17).

Para la toma de muestra de agua, para los parámetros microbiológicos de coliformes fecales y totales se utilizaron frascos de polietileno de 100 mililitros previamente esterilizados en

autoclave, los cuales se llenaron hasta la medida requerida (100 ml). Una vez recolectadas las muestras, se colocaron en hieleras a la temperatura antes mencionada las cuales se transportaron al laboratorio del CID-ANDA, para sus respectivos análisis (figura 16).

La temperatura y pH fueron medidos en el campo en las jornadas de muestreo.



Figura 16. Frasco de 100 ml para análisis microbiológicos.

Los parámetros físico-químicos y microbiológicos fueron analizados de la siguiente manera:

- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5). Este parámetro se analizó con una sonda multiparámetro HACH HQ 40D. El medidor posee dos canales de entrada destinados a mediciones simultáneas de pH, conductividad, oxígeno disuelto (OD).
- Nitratos y fosfatos se midieron con un fotómetro modelo Spectroquam NOVA 60.
- Temperatura se midió a través con un termómetro de laboratorio.
- pH se midió con un pH-metro marca HANNA.
- Los coliformes totales y fecales se analizaron por el método de la técnica de tubos múltiples y se contabilizaran por el número más probable en función de 100 ml de la muestra (NMP/100 ml).



Figura 17. Traslado de muestra en cadena fría.

Se analizaron: coliformes totales y coliformes fecales por medio de la técnica: “Lectura del Número más Probable” y se cuantificaron sólidos totales disueltos, medición de temperatura, pH, demanda bioquímica de oxígeno, nitratos, fosfatos y oxígeno disuelto.

6.5. Modelo estadístico.

Se aplicó el modelo estadístico: Bloques completamente al azar. Este diseño es el más sencillo, eficiente y se origina por la asignación aleatoria de los tratamientos a un conjunto de unidades experimentales previamente determinado. En este diseño usamos k tratamientos, asignándose cada uno al azar a n unidades experimentales; para cada unidad seleccionamos al azar un número de 1 a k para decidir que tratamiento debemos aplicar a esa unidad experimental. Si no existen restricciones, con excepción del requerimiento de igual número de unidades experimentales por tratamiento, entonces se dice que el experimento tiene un diseño completamente aleatorio. En este caso, todas las unidades experimentales tienen la misma probabilidad de recibir cualquiera de los tratamientos y las unidades experimentales son independientes. Después que se ha efectuado el experimento, tenemos un grupo de datos consistente en las kn respuestas de las unidades experimentales, clasificadas en k grupos de acuerdo con los tratamientos que se aplicaron. Se supone: 1) que los valores observados en cualquiera de los grupos constituyen una muestra aleatoria de todas las posibles respuestas bajo ese tratamiento para todas las unidades experimentales. 2) que la variación entre las

unidades tratadas de la misma manera es igual para todos los tratamientos. 3) que las respuestas se distribuyen normalmente (Badii Castillo Rodríguez, W; Villalpando, P. 2015).

Cada observación del experimento es expresada mediante una ecuación lineal en los parámetros, el conjunto conforma el modelo para el diseño de bloques completos al azar:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} \quad \begin{array}{l} i=1,2,\dots,t \\ j=1,2,\dots,r \end{array}$$

μ = Parámetro, efecto medio

τ_i = Parámetro, efecto del tratamiento I

β_j = Parámetro, efecto del bloque j

ε_{ij} = valor aleatorio, error experimental de la u.e. i,j

Y_{ij} = Observación en la unidad experimental

El diseño experimental fue consultado con el departamento de Fitotecnia de la Universidad de El Salvador, quienes recomendaron que se realizaran cuatro tratamientos y cinco repeticiones por tratamiento para alcanzar los grados de libertad requerido para que la investigación posea validez (Bermúdez Márquez 2017).

Ventajas del diseño

1. Permite flexibilidad completa (cualquier número de tratamientos y de repeticiones). Todo el material experimental disponible puede usarse.
2. El análisis estadístico es fácil (aún con diferentes números de repeticiones), o si los errores experimentales difieren de un tratamiento a otro.
3. Método de análisis sigue siendo sencillo, cuando existe la pérdida relativa de información.
4. El diseño es capaz de estimar el error estándar por unidad experimental (error experimental) con un mayor grado de precisión.

(Badii Castillo Rodríguez, W; Villalpando, P. 2015).

VII. Análisis de Resultados.

7.1. Resultados microbiológicos.

7.1.1. Resultados de laboratorio para coliformes totales.

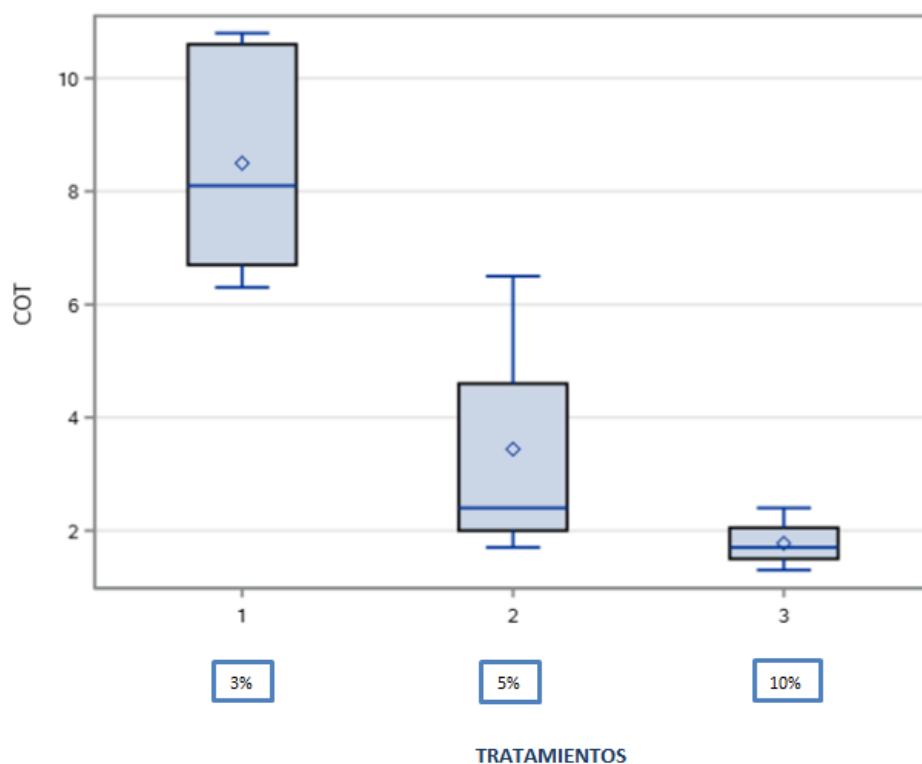
Los resultados obtenidos durante la fase de campo en la Planta de Tratamiento de San Luís Talpa, departamento de La Paz, pueden ser contemplados en el cuadro 4.

Cuadro 4. Resultados de análisis microbiológicos para coliformes totales.

Tratamientos (Concentra- ción)	Repetición	Resultados del análisis (NMP/100 ml)			
		Jornada 1	Jonada 2	Jornada 3	Promedio
T-0 (0%)	1	≥10,000	≥10,000	≥10,000	≥10,000
	2	≥10,000	≥10,000	≥10,000	≥10,000
	3	≥10,000	≥10,000	≥10,000	≥10,000
	4	≥10,000	≥10,000	≥10,000	≥10,000
	5	≥10,000	≥10,000	≥10,000	≥10,000
T-1 (3%)	1	3.1	27.8	1.0	10.6
	2	4.1	19.1	1.0	8.1
	3	3.5	14.5	1.0	6.3
	4	2.0	17.1	1.0	6.7
	5	1.0	30.5	1.0	10.8
T-2 (5%)	1	2.0	10.8	1.0	4.6
	2	2.0	16.6	1.0	6.5
	3	3.1	3.1	1.0	2.4
	4	2.0	3.1	1.0	2.0
	5	3.1	1.0	1.0	1.7
T-3 (10%)	1	2.0	2.0	1.0	1.7
	2	3.1	1.0	1.0	1.7
	3	2.0	1.0	1.0	1.3
	4	3.1	3.0	1.0	2.4
	5	2.0	1.0	1.0	1.3

Fuente: elaboración propia

El cuadro sintetiza los resultados obtenidos en las diferentes etapas de la investigación, los tratamientos desarrollados, las repeticiones de cada uno de ellos y las variantes producto de la aplicación de los microorganismos de montaña. Para efectos ilustrativos, únicamente se presentan los resultados de T1, T2 y T3, debido a que la brecha entre ellos y T0 es desproporcionadamente alta (> 10,000 NMP/100 ml) (figura 18).



Donde: COT= Coliformes Totales (NMP/100 ml)

Figura 18. Comportamientos de coliformes totales con la aplicación de microorganismos de montaña bajo diseño experimental de bloques completamente al azar.

7.1.2. Resultados de laboratorio para coliformes fecales.

Los resultados obtenidos durante la fase de campo en la Planta de Tratamiento de San Luís Talpa, departamento de La Paz, pueden ser contemplados en el cuadro 5.

Al igual que el parámetro anterior, se puede apreciar una evidente inhibición de la población de coliformes fecales, a través del uso de microorganismos de montaña utilizando las concentraciones del 3% (T1), 5% (T2) Y 10% (T3).

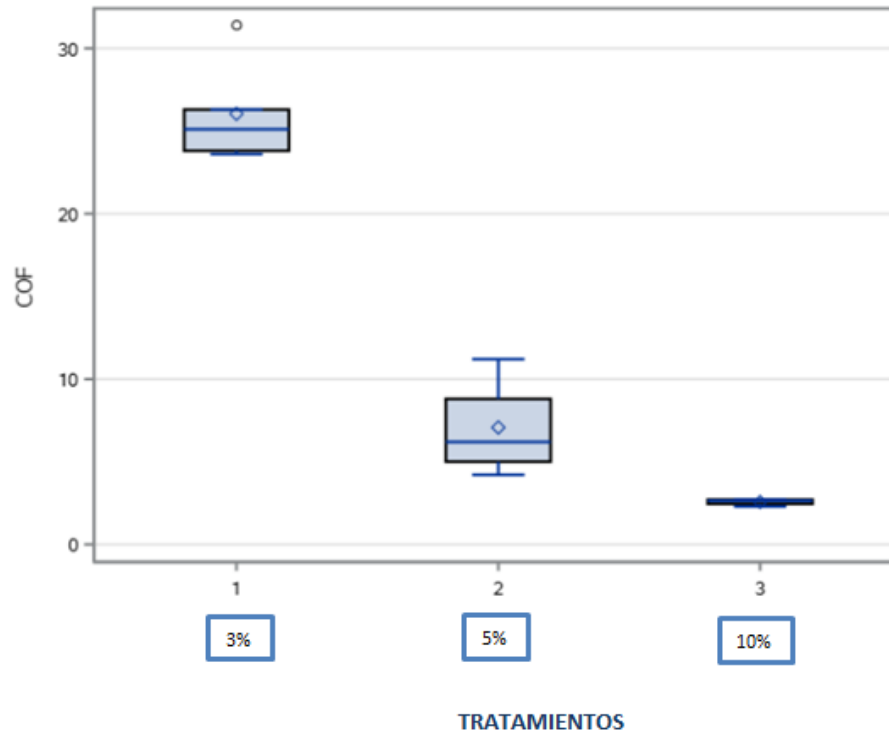
Cuadro 5. Resultados de análisis microbiológicos para coliformes fecales.

Tratamientos (Concentra-ción)	Repetición	Resultados del análisis (NMP/100 ml)			
		Jornada 1	Jornada 2	Jornada 3	Promedio
T-0 (0%)	1	≥2,450	≥2,450	≥2,450	≥2,450
	2	≥2,450	≥2,450	≥2,450	≥2,450
	3	≥2,450	≥2,450	≥2,450	≥2,450
	4	≥2,450	≥2,450	≥2,450	≥2,450
	5	≥2,450	≥2,450	≥2,450	≥2,450
T-1 (3%)	1	6.2	86.9	1.0	31.4
	2	4.1	73.8	1.0	26.3
	3	3.5	66.3	1.0	23.6
	4	2.0	72.3	1.0	25.1
	5	1.0	69.5	1.0	23.8
T-2 (5%)	1	3.1	29.6	1.0	11.2
	2	2.0	23.5	1.0	8.8
	3	3.1	11.0	1.0	5.0
	4	2.0	15.5	1.0	6.2
	5	3.1	8.6	1.0	4.2
T-3 (10%)	1	2.0	4.1	1.0	2.4
	2	3.1	4.1	1.0	2.7
	3	2.0	5.1	1.0	2.7
	4	3.1	4.1	1.0	2.7
	5	2.0	1.0	1.0	1.3

Fuente: elaboración propia

El cuadro sintetiza los resultados obtenidos en las diferentes etapas de la investigación, los tratamientos desarrollados, las repeticiones de cada uno de ellos y las variantes producto de la aplicación de los Microorganismos de Montaña.

Es evidente el grado de efectividad que los microorganismos bio-remediadores han demostrado después de obtener los datos de los análisis microbiológicos en los laboratorios de CIDE-ANDA, pudiéndose contemplar en el siguiente gráfico (figura 19).



Donde: COF= Coliformes Fecales (NMP/100 ml)

Figura 19. Comportamientos de coliformes fecales con la aplicación de microorganismos de montaña bajo diseño experimental de bloques completamente al azar.

Para efectos ilustrativos, únicamente se presentan los resultados de T1, T2 y T3, debido a que la brecha entre ellos y T0 es desproporcionadamente alta (> 2,450 NMP/100 ml).

7.2. Resultados de laboratorio para parámetros físico-químicos.

7.2.1. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

Es un indicador de la contaminación orgánica de los vertidos. El valor límite de vertido establecido para este parámetro y contribuye a determinar la cantidad aproximada de oxígeno que se requerirá para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente. Los resultados pueden contemplarse en el cuadro 6.

También contribuye a dimensionar las estaciones de tratamiento de aguas residuales (Torres 2015).

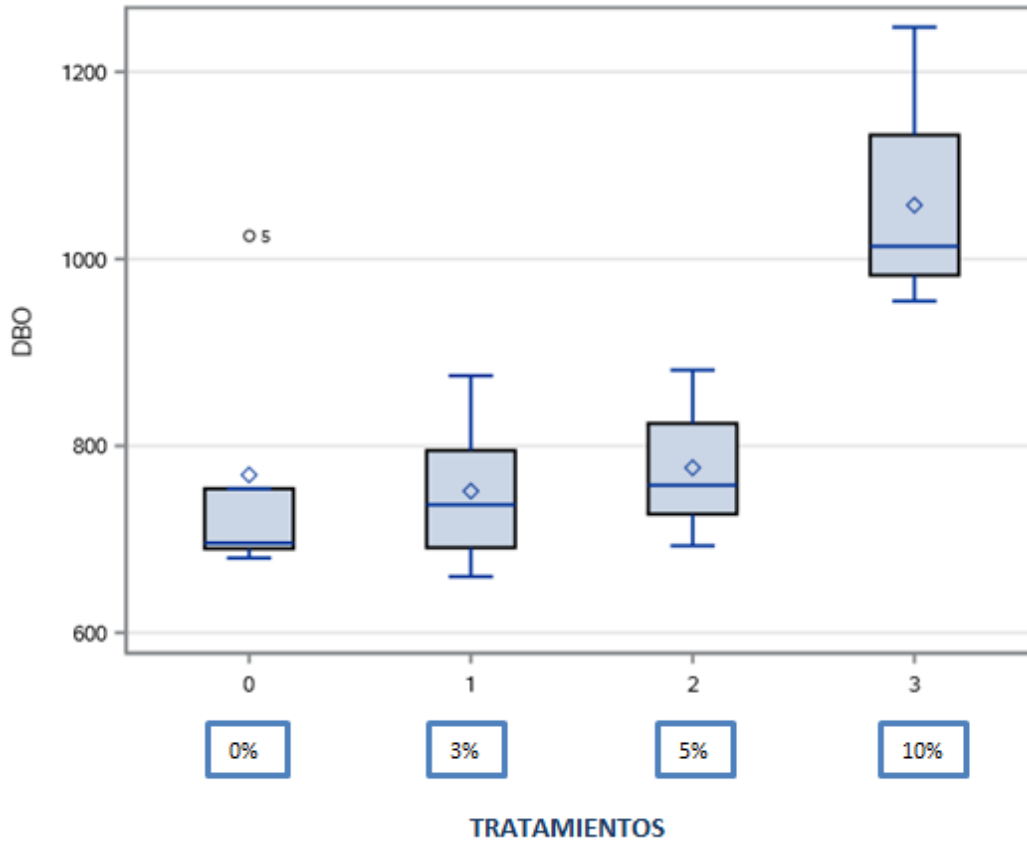
Cuadro 6. Resultados de análisis físico-químicos para Demanda Bioquímica de Oxígeno.

Tratamiento (Concentración)	Repetición	Jornada 1 mg/l	Jornada 2 mg/l	Jornada 3 mg/l	Promedio mg/l
T-0 (0%)	1	1296.0	570.0	396.0	754.0
	2	1308.0	393.0	387.0	696.0
	3	1302.0	303.0	435.0	680.0
	4	1356.0	309.0	405.0	690.0
	5	1287.0	1293.0	495.0	1025.0
T-1 (3%)	1	633.0	1041.0	951.0	875.0
	2	402.0	885.0	924.0	737.0
	3	405.0	801.0	774.0	660.0
	4	510.0	927.0	948.0	795.0
	5	450.0	783.0	840.0	691.0
T-2 (5%)	1	627.0	927.0	1089.0	881.0
	2	420.0	741.0	1020.0	727.0
	3	351.0	651.0	1077.0	693.0
	4	486.0	690.0	1098.0	758.0
	5	606.0	864.0	1002.0	824.0
T-3 (10%)	1	498.0	1416.0	1137.0	1017.0
	2	348.0	1431.0	1251.0	1010.0
	3	225.0	1392.0	1248.0	955.0
	4	1122.0	1353.0	1269.0	1248.0
	5	1293.0	1515.0	1269.0	1359.0

Fuente: elaboración propia

Las aguas superficiales son, altamente susceptibles a la contaminación; siendo el vertedero tradicional a lo largo de toda la historia de la industria y las poblaciones. En el caso de los contaminantes que demandan oxígeno, afectan a las corrientes de agua como a las aguas estancadas.

La aplicación de microorganismos benéficos a las diferentes muestras y concentraciones de agua residual ordinaria, incrementaron la demanda bioquímica de oxígeno para poder descomponer la materia orgánica presente (figura 20).



Donde: DBO= Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/l)

Figura 20. Comportamiento de demanda bioquímica de oxígeno con la aplicación de microorganismos de montaña bajo diseño experimental de bloques completamente al azar.

La materia orgánica requiere oxígeno para ser degradada en un curso de agua. El alto contenido orgánico favorece el crecimiento de bacterias y hongos. El oxígeno utilizado para la oxidación de la materia orgánica, consume el utilizado para el desarrollo de la fauna y flora acuática. Entre los efectos al ecosistema, se encuentra el cambio en la calidad del agua, y la posible elevación del pH, provocando la desaparición de peces y plantas (Raffo Leca 2014).

Los resultados de los análisis de Demanda Bioquímica de Oxígeno, concuerdan con lo enunciado por Raffo Lecca, E: “A mayor cantidad de materia orgánica contenida en una muestra de agua, más cantidad de oxígeno necesitan los microorganismos para oxidarla o degradarla” (Raffo Leca 2014), ya que, además de la materia orgánica de las muestras de agua residual ordinarias, se adicionaron componentes microbiológicos que demandaron oxígeno

durante los cuatro días que duró el período de incubación de los tratamientos uno, dos y tres, cuyas concentraciones fueron del 3, 5 y 10% respectivamente.

7.2.2. pH.

Las condiciones de acidificación de las muestras en los diferentes tratamientos, se debe también a la presencia de bacterias nitrificantes de los géneros: *Nitrosomonas* y *Nitrobacter* (UNEX 2006). Los resultados de laboratorio se verifican en el cuadro 7.

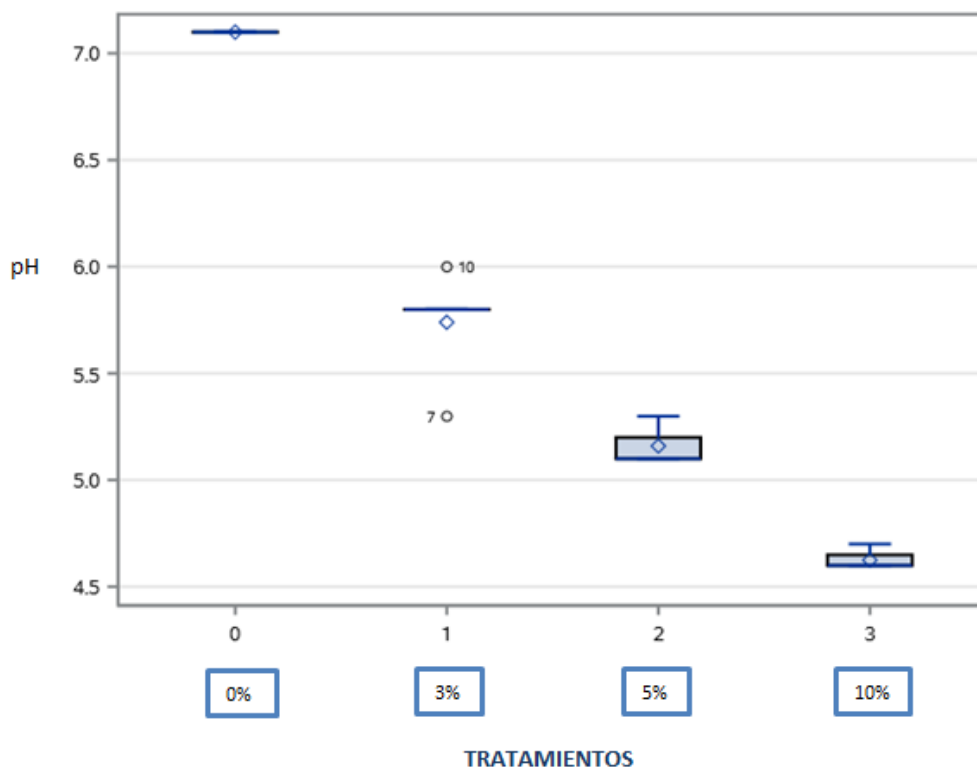
Cuadro 7. Resultados de análisis físico-químicos para pH.

Tratamiento (Concentración)	Repetición	Jornada 1	Jornada 2	Jornada 3	Promedio
T-0 (0%)	1	7.2	7.0	7.0	7.1
	2	7.1	7.0	7.3	7.1
	3	7.3	7.0	7.2	7.2
	4	7.0	7.1	7.2	7.1
	5	7.0	7.1	7.2	7.1
T-1 (3%)	1	6.8	6.3	4.4	5.8
	2	6,76	6.3	4.4	5.4
	3	6.8	6.4	4.4	5.8
	4	6.8	6.4	4.3	5.8
	5	7.4	6.4	4.3	6.0
T-2 (5%)	1	5.2	5.8	4.6	5.2
	2	5.3	5.8	4.5	5.2
	3	5.2	5.9	4.4	5.2
	4	5.7	5.8	4.4	5.3
	5	5.3	5.9	4.4	5.2
T-3 (10%)	1	5.1	5.1	3.8	4.7
	2	5.0	5.1	3.8	4.7
	3	5.0	5.1	3.8	4.6
	4	5.0	5.1	3.8	4.6
	5	4.9	5.2	3.9	4.7

Fuente: elaboración propia; Unidad de medida: Unidades de pH

Las condiciones de acidez que se generaron a través del incremento en la concentración de microorganismos de montaña en la muestra de agua residual ordinaria, se debe principalmente al medio de cultivo en el cual van disueltos, que contiene altos niveles de azúcar aportados por

la melaza utilizada como fuente de energía, lo cual los convierte en un medio de cultivo enriquecido (figura 21) (Apella y Araujo 2005).



Unidad de medida: Unidades de pH

Figura 21. Comportamiento de pH con la aplicación de microorganismos de montaña bajo diseño experimental de bloques completamente al azar.

Las condiciones descritas en el párrafo anterior, favorecen que el número de células viables permanezcan constantes, y continúan produciendo ácidos, razón por la cual se acidificaron las condiciones del T-2 y T-3 principalmente (Apella y Araujo 2005).

7.2.3. Sólidos totales disueltos (TDS)

Analíticamente se define como la materia que se obtiene como residuo después de someter al agua a un proceso de evaporación a una temperatura entre 103 y 105°C.

Este parámetro permite conocer cuál es la cantidad total de sólidos que entra en la PTAR o en uno de los procesos, independientemente de la naturaleza del mismo (cuadro 8). En el proceso de evaporación se pierden los sólidos que tengan una baja presión de vapor (Torres 2015).

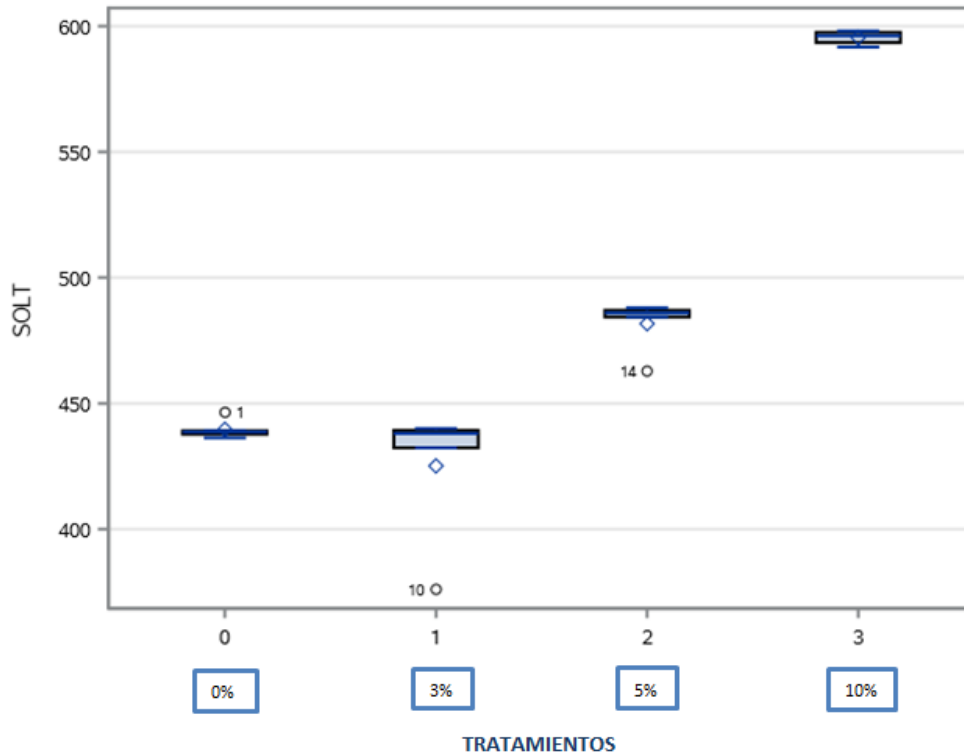
Cuadro 8. Resultados de análisis físico-químicos para sólidos totales disueltos.

Tratamiento (Concentración)	Repetición	Jornada 1 mg/l	Jornada 2 mg/l	Jornada 3 mg/l	Promedio mg/l
T-0 (0%)	1	424.0	433.0	483.0	446.7
	2	401.0	435.0	481.0	439.0
	3	405.0	436.0	475.0	438.7
	4	398.0	436.0	475.0	436.3
	5	393.0	437.0	483.0	437.7
T-1 (3%)	1	389.0	466.0	442.0	432.3
	2	385.0	487.0	442.0	438.0
	3	389.0	484.0	445.0	439.3
	4	386.0	489.0	445.0	440.0
	5	193.9	487.0	447.0	376.0
T-2 (5%)	1	556.0	465.0	440.0	487.0
	2	545.0	476.0	443.0	488.0
	3	549.0	475.0	434.0	486.0
	4	486.0	470.0	433.0	463.0
	5	544.0	478.0	431.0	484.3
T-3 (10%)	1	699.0	657.0	435.0	597.0
	2	695.0	654.0	437.0	595.3
	3	697.0	647.0	450.0	598.0
	4	694.0	658.0	423.0	591.7
	5	700.0	654.0	437.0	597.0

Fuente: elaboración propia

Los resultados del cuadro anterior, expresan un incremento evidente de este parámetro, debido a la adición de una solución que contenía el inóculo de microorganismos benéficos, los cuales requerían de una fuente de energía suplida por la melaza para poderse reproducir.

De igual manera, no debe pasar desapercibido que además de la adición de melaza, la solución contiene partículas finas de suelo como limo y arcilla provenientes del lugar donde se realizó la captura de estos microorganismos en estudio (figura 22).



Donde: SOLT=Solidos Totales Disueltos (mg/l)

Figura 22. Comportamiento de sólidos totales con la aplicación de microorganismos de montaña bajo diseño experimental de bloques completamente al azar.

Los resultados del gráfico anterior, son el producto de la adición de miel de purga o melaza como fuente de energía que mantiene en estado viable a los microorganismos de montaña, así como el material coloidal en el cual se encontraban en su estado natural al momento de su captura (FUNDESYRAM 2016). Dicho aumento en los sólidos totales, queda evidenciado a través del aumento proporcional del porcentaje de la solución de microorganismos de montaña inoculados a cada uno de los tres tratamientos analizados en esta tesis, reflejados en la gráfica anterior.

7.2.4. Nitratos

El nitrógeno llega principalmente a las aguas residuales en forma proteica o urea que se descompone rápidamente. Por tanto el nitrógeno que llega a las estaciones de tratamiento de aguas residuales, lo hace principalmente en forma de amonio, que se oxida hasta llegar a nitratos (cuadro 9).

En pH alcalinos el equilibrio se desplaza hacia la izquierda, predominando el ión amoníaco que es tóxico para los organismos incluso a bajas concentraciones. Por tanto tener un pH alto en nuestro sistema biológico no es recomendable.

Los nitritos (NO_2) son relativamente inestables y fácilmente oxidables a nitratos. Raramente superan el valor de 3 mg/L. Cuando se tienen valores altos de nitritos en la salida de la PTAR, indica que no se está dando correctamente el ciclo del nitrógeno en el sistema biológico, no existe una colonia suficiente de bacterias nitrobacter en el sistema.

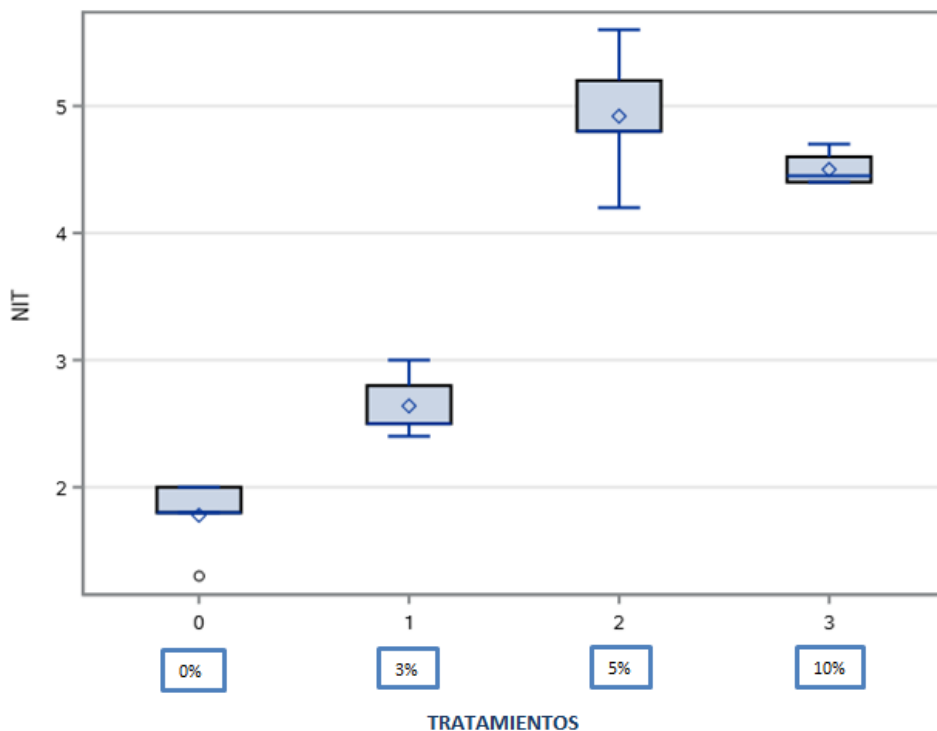
Los nitratos (NO_3) son la forma más oxidada del nitrógeno. Y la forma menos tóxica en la que se puede realizar el vertido. Puede facilitar el crecimiento de algas verdes (Torres 2015).

Cuadro 9. Resultados de análisis físico-químicos para nitratos.

Tratamiento (Concentración)	Repetición	Jornada 1 mg/l	Jornada 2 mg/l	Jornada 3 mg/l	Promedio mg/l
T-0 (0%)	1	0.7	1.6	1.7	1.3
	2	2.9	1.2	1.7	2.0
	3	2.3	1.5	1.5	1.8
	4	2.7	1.5	1.4	1.9
	5	2.7	1.7	1.7	2.0
T-1 (3%)	1	2.8	2.3	2.5	2.5
	2	2.8	2.3	2.6	2.6
	3	2.3	2.3	2.7	2.4
	4	3.4	2.3	2.9	2.9
	5	4.3	2.3	2.4	3.0
T-2 (5%)	1	9.4	3.3	4.3	5.7
	2	7.9	3.8	4.0	5.2
	3	6.5	4.1	4.0	4.9
	4	4.7	3.8	4.0	4.2
	5	6.5	4.0	4.1	4.9
T-3 (10%)	1	4.5	4.3	4.4	4.4
	2	4.7	4.5	4.3	4.5
	3	4.8	4.6	4.9	4.8
	4	4.6	4.5	4.7	4.6
	5	4.6	4.5	4.9	4.6

Fuente: elaboración propia

La condición de aumento de los Nitratos por la aplicación de los tratamientos con microorganismos de montaña, se deba principalmente a la presencia de bacterias del género *Nitrosomonas* y *Nitrobacter*, las cuales, además de aumentar la metabólicamente el nitrógeno dada su naturaleza, generan una reducción del pH de los medios en los cuales estén presentes (UNEX 2006). Los resultados de los análisis, presentan incrementos de nitratos en todos los tratamientos con excepción del testigo, siendo el T-2 quien presenta los niveles más altos de producción de nitratos, lo cual indica que en la solución del 5% existe mayor presencia de bacterias nitrificantes de los géneros antes mencionados que en comparación con el T-1 y T-3 (figura 23).



Donde: NIT=nitratos (mg/l)

Figura 23. Distribución de nitratos.

7.2.5. Fosfatos.

Las formas más frecuentes en las que se presenta el fósforo en soluciones acuosas incluyen el ortofosfato, el polifosfato y los fosfatos orgánicos.

Los fosfatos son la forma más común en la que llega el fósforo a las aguas residuales, los polifosfatos mediante hidrólisis llegan a transformarse en fosfatos, aunque suele ser un proceso bastante lento.

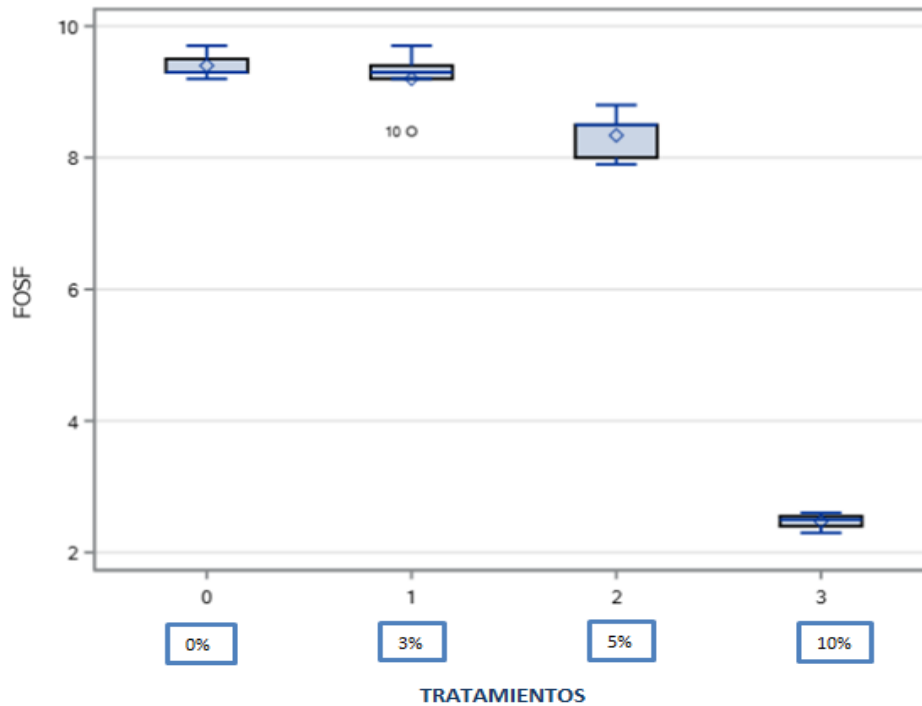
El fósforo es un componente esencial en la proliferación de algas. Niveles altos de fosfatos pueden causar un boom de microalga fotosintéticas y ocasionar problemas serios en el sistema de depuración. Este problema se agrava en verano debido a las mayores horas de irradiación solar y a la mayor temperatura del agua (cuadro 10).

Cuadro 10. Resultados de análisis físico-químicos para fosfatos.

Tratamiento (Concentración)	Repetición	Jornada 1 mg/l	Jornada 2 mg/l	Jornada 3 mg/l	Promedio mg/l
T-0 (0%)	1	2.4	14.3	12.5	9.7
	2	2.7	13.0	12.9	9.5
	3	2.1	13.0	12.6	9.2
	4	2.8	13.1	12.2	9.4
	5	2.9	12.6	12.6	9.4
T-1 (3%)	1	2.2	13.0	12.6	9.3
	2	2.1	13.6	12.3	9.3
	3	2.9	12.9	12.5	9.4
	4	2.3	13.8	12.9	9.7
	5	0.2	12.5	12.6	8.4
T-2 (5%)	1	3.0	10.9	11.7	8.5
	2	2.5	12.1	12.0	8.8
	3	0.2	11.6	12.0	7.9
	4	1.3	11.9	12.2	8.5
	5	0.3	11.6	12.1	8.0
T-3 (10%)	1	2.6	2.2	2.1	2.3
	2	3.0	2.4	2.1	2.5
	3	2.8	2.6	2.6	2.6
	4	2.4	2.6	2.4	2.5
	5	2.4	2.6	2.7	2.5

Fuente: elaboración propia

La concentración de fósforo en aguas residuales de tipo ordinario antes de ser vertida hacia el cuerpo receptor es de 45, por lo tanto, este parámetro cumple con la Norma Salvadoreña Obligatoria para Aguas Residuales de Tipo Ordinaria NSO 13.49.01:09 (CONACYT 2009).



Donde: FOSF=Fosfatos (mg/l)

Figura 24. Distribución de Fosfatos.

La disminución de los fosfatos posterior a los 4 días de incubación de los microorganismos de montaña, se debe a la acción de solubilización de fosfatos minerales, producto de la acción de especies microscópicas de diferentes géneros (*Pseudomonas*, *Bacillus*, *Alcaligenes*, *Achromobacter*, *Agrobacterium*, *Flavobacterium* y *Arthrobacter* principalmente), las cuales, asimilan directamente los fosfatos insolubles acumulándolos en sus células y liberándolos posteriormente. El proceso de solubilización queda evidenciado principalmente en el T-3, sin embargo T-1 y T-2 desarrollan aportes nada despreciables a la disminución de fosfatos en las aguas inoculadas con los diferentes porcentajes de microorganismos de montaña (figura 24), pudiéndose comprobar la presencia de bacterias promotoras de la solubilización de los fosfatos (UNEX 2006).

7.2.6. Turbidez.

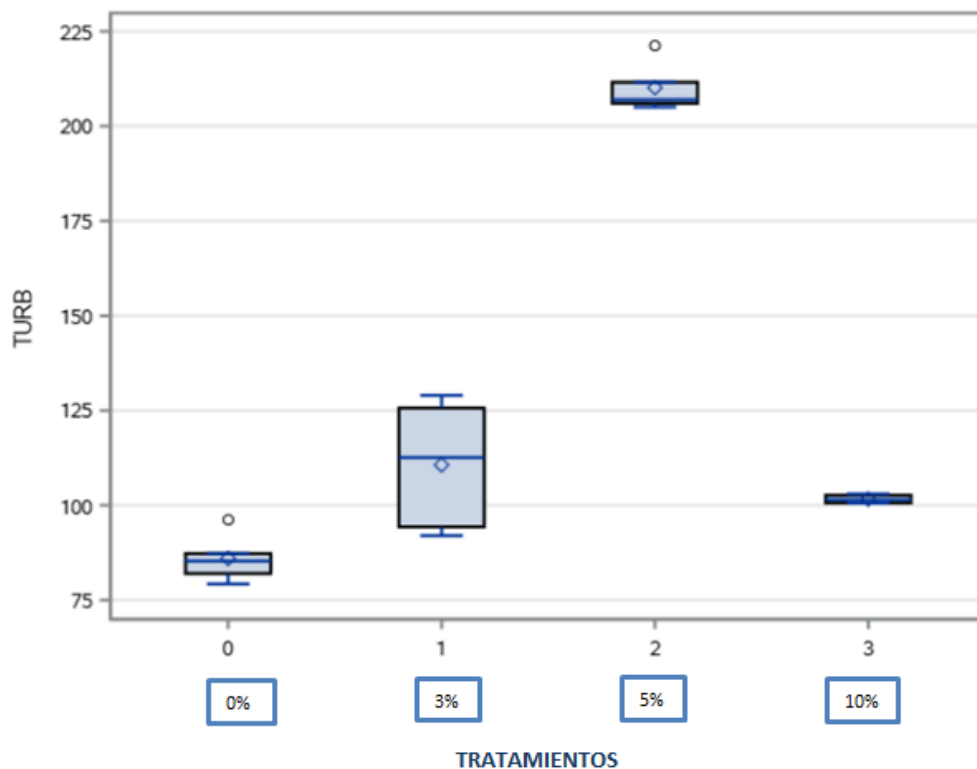
En los resultados de la medición de Turbidez como parámetro físico químico, se evidencia en los tratamientos T-1 y T-2 en rango ascendente, sin embargo, esta condición disminuyó en T-3 a pesar que su índice fue mayor en comparación al testigo (cuadro 11).

Cuadro 11. Resultados de análisis físico-químicos para turbidez.

Tratamiento (Concentración)	Repetición	Jornada 1 FAU	Jornada 2 FAU	Jornada 3 FAU	Promedio FAU
T-0 (0%)	1	73.0	85.0	80.0	79.3
	2	85.0	92.0	79.0	85.3
	3	120.0	89.0	80.0	96.3
	4	70.0	95.0	81.0	82.0
	5	86.0	98.0	78.0	87.3
T-1 (3%)	1	105.0	87.0	84.0	92.0
	2	169.0	86.0	83.0	112.7
	3	203.0	87.0	87.0	125.7
	4	216.0	86.0	85.0	129.0
	5	112.0	87.0	84.0	94.3
T-2 (5%)	1	217.0	242.0	176.0	211.7
	2	219.0	243.0	156.0	206.0
	3	201.0	242.0	178.0	207.0
	4	184.0	242.0	189.0	205.0
	5	224.0	242.0	198.0	221.3
T-3 (10%)	1	105.0	98.0	99.0	100.7
	2	115.0	96.0	98.0	103.0
	3	112.0	98.0	97.0	102.3
	4	109.0	96.0	97.0	100.7
	5	108.0	97.0	97.0	100.7

Fuente: elaboración propia

El parámetro de turbidez, tal y como pudo apreciarse en el cuadro anterior, aumentó en la medida que se aplicaron las 3 concentraciones de microorganismos benéficos, cuyo comportamiento queda relacionado con el incremento de sólidos totales disueltos con excepción del T3 (figura 25), ya que son la resultante del material coloidal (arcillas y limos principalmente) y de la fuente de energía (melaza) en los cuales iban disueltos en fase líquida.



Donde: TURB= turbidez (Unidad de medida: FAU)

Figura 25. Comportamiento de turbidez con la aplicación de microorganismos de montaña bajo diseño experimental de bloques completamente al azar.

En los resultados de la medición de turbidez como parámetro físico químico, se evidencia en los tratamientos T-1 y T-2 en rango ascendente, sin embargo, esta condición disminuyó en T-3 a pesar que su índice fue mayor en comparación al testigo.

Estos resultados coinciden con lo expresado por UCC 2015 y FUNDESYRAM 2016 donde se refiere a que la materia en suspensión que origina la turbiedad consiste principalmente en sílice (finamente dividido), arcilla y limo, además de compuestos orgánicos. Lo antes mencionado se describió en el marco teórico, recalcando la procedencia coloidal y microbiológica del inóculo en la metodología.

7.2.7. Conductividad eléctrica.

Los valores normales de conductividad en aguas residuales urbanas oscilan en el rango de 500 a 1.500 $\mu\text{S/cm}$ (Torres 2015). Los resultados de conductividad eléctrica se detallan en el cuadro 12.

Cuadro 12. Resultados de análisis físico-químicos para conductividad eléctrica.

Tratamiento (Concentración)	Repetición	Jornada 1 $\mu\text{S/cm}$	Jornada 2 $\mu\text{S/cm}$	Jornada 3 $\mu\text{S/cm}$	Promedio $\mu\text{S/cm}$
T-0 (0%)	1	799.0	841.0	982.0	874.0
	2	744.0	845.0	944.0	844.3
	3	747.0	845.0	935.0	842.3
	4	737.0	848.0	936.0	840.3
	5	733.0	852.0	948.0	844.3
T-1 (3%)	1	761.0	836.0	865.0	820.7
	2	551.0	847.0	856.0	751.3
	3	758.0	834.0	858.0	816.7
	4	769.0	846.0	855.0	823.3
	5	355.0	832.0	864.0	683.7
T-2 (5%)	1	934.0	859.0	890.0	894.3
	2	922.0	869.0	876.0	889.0
	3	943.0	859.0	882.0	894.7
	4	872.0	867.0	880.0	873.0
	5	953.0	871.0	877.0	900.3
T-3 (10%)	1	1343.0	987.0	813.0	1047.7
	2	1334.0	997.0	815.0	1048.7
	3	1331.0	986.0	823.0	1046.7
	4	1331.0	995.0	820.0	1048.7
	5	1341.0	945.0	840.0	1042.0

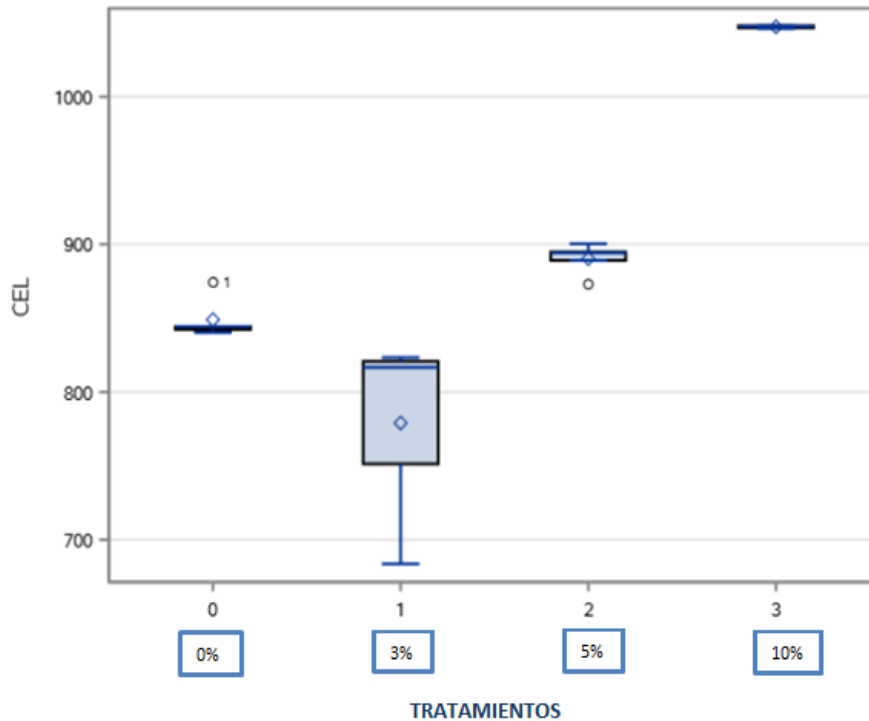
Fuente: elaboración propia

Para esta investigación, los niveles de conductividad eléctrica están dentro del rango permisible, facilitando la depuración biológica de las mismas.

Valores elevados de conductividad $>3.000 \mu\text{S/cm}$, afectan al proceso biológico de depuración, impidiendo el desarrollo de una comunidad bacteriana estable.

Se produce un desajuste en la colonia bacteriana, las bacterias filamentosas son más resistentes lo que provoca que se debilite la estructura flocular del fango activo disminuyendo su densidad y por tanto su velocidad de sedimentación (figura 26).

En vertidos de origen urbano no es habitual conductividades tan elevadas. Los aumentos de conductividad se suelen deber a infiltraciones de aguas marinas en zonas de costas o en vertidos de origen industrial (Torres 2015).



Donde: CEL= Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

Figura 26. Comportamiento de conductividad eléctrica con la aplicación de microorganismos de montaña bajo diseño experimental de bloques completamente al azar.

Se debe tomar en cuenta que la solución que sirvió de vehículo para los microorganismos de montaña, se obtuvo del suelo de zonas montañosas, en los cuales van disueltos coloides y alto contenido orgánico y microbiológico, viéndose reflejado dicho fenómeno en T-2 y T-3 principalmente.

La conductividad es usada como un sustituto de la concentración de sólidos totales disueltos en el agua, en la que los iones contribuyen y forman parte de los sólidos totales disueltos. Por lo tanto, define su concentración de sólidos disueltos referidos a sales y residuos orgánicos (UCC 2015).

7.2.8. Oxígeno disuelto total.

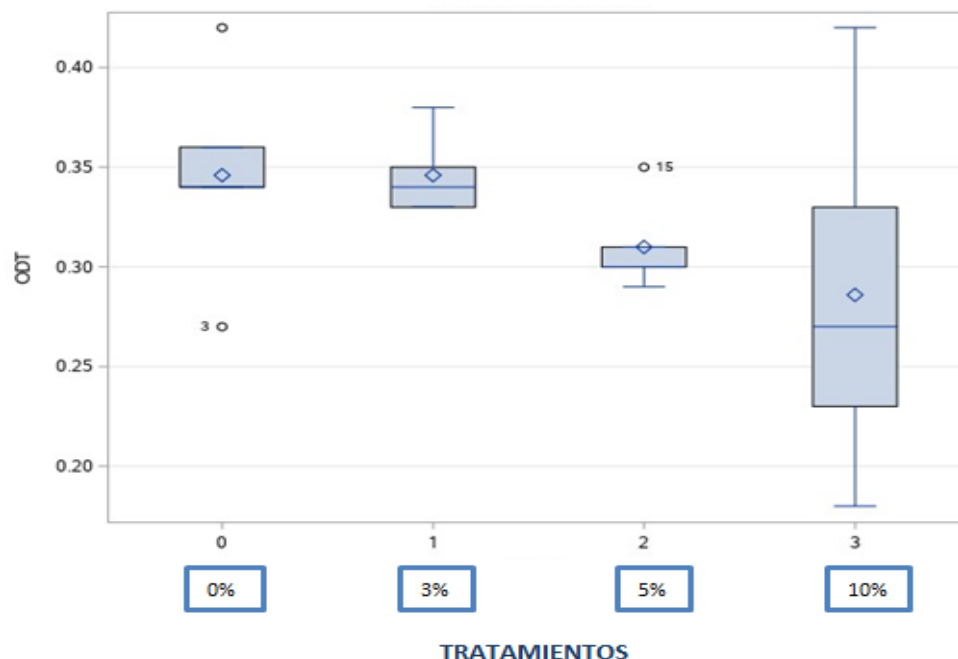
Si el nivel de oxígeno disuelto es bajo indica contaminación con materia orgánica, septicización, mala calidad del agua e incapacidad para mantener determinadas formas de vida (Echarri Prim 1998). Los resultados se detallan en el cuadro 13.

Cuadro 13. Resultados de análisis físico-químicos para oxígeno disuelto.

Tratamiento (Concentración)	Repetición	Jornada 1 mg/l	Jornada 2 mg/l	Jornada 3 mg/l	Promedio mg/l
T-0 (0%)	1	0.52	0.24	0.26	0.85
	2	0.85	0.21	0.19	1.12
	3	0.40	0.18	0.23	0.66
	4	0.59	0.29	0.15	0.93
	5	0.76	0.19	0.14	1.00
T-1 (3%)	1	0.16	0.12	0.71	0.52
	2	0.12	0.14	0.89	0.56
	3	0.16	0.12	0.72	0.52
	4	0.11	0.11	0.84	0.50
	5	0.12	0.12	0.78	0.50
T-2 (5%)	1	0.13	0.32	0.45	0.60
	2	0.22	0.22	0.46	0.59
	3	0.24	0.19	0.43	0.57
	4	0.43	0.15	0.34	0.69
	5	0.32	0.17	0.56	0.68
T-3 (10%)	1	0.21	0.12	0.22	0.40
	2	0.23	0.81	0.23	1.12
	3	0.24	0.53	0.23	0.85
	4	0.22	0.22	0.24	0.52
	5	0.24	0.34	0.24	0.66

Fuente: elaboración propia

Las condiciones de la temperatura del agua, juegan un papel importante en la proliferación de microorganismos anaerobios y aerobios y su concerniente consumo de oxígeno del agua resultante de los procesos metabólicos de dichas especies (UCC 2015).



Donde: ODT= oxígeno disuelto total (mg/l)

Figura 27. Comportamiento de oxígeno disuelto con la aplicación de microorganismos de montaña bajo diseño experimental de bloques completamente al azar.

Las cantidades de oxígeno disuelto tanto del testigo como de los 3 diferentes tratamientos analizados, son muy bajas, lo cual se debe a una septicización debido al alto número de coliformes totales y fecales que existen en el punto de muestreo (sedimentador primario), la demanda de oxígeno disuelto se agudiza debido a la adición de las concentraciones de microorganismos de montaña del 3, 5 y 10% de los tratamientos (figura 27), lo cual, cabe mencionar que son aguas hipóxicas (menores a 2 mg/l), tal y como lo establecen Echarri Prim 1998 y Waterboards 2017.

La situación anterior generaría impactos negativos en el cuerpo receptor si estas agua residuales ordinarias tratadas con los microorganismos de montaña por un período de 4 días fueran vertidas a ríos.

Estas aguas pueden ser usadas para riego de cultivos, ya que las exigencias son menos restrictivas en el caso de la agricultura (figura 28).

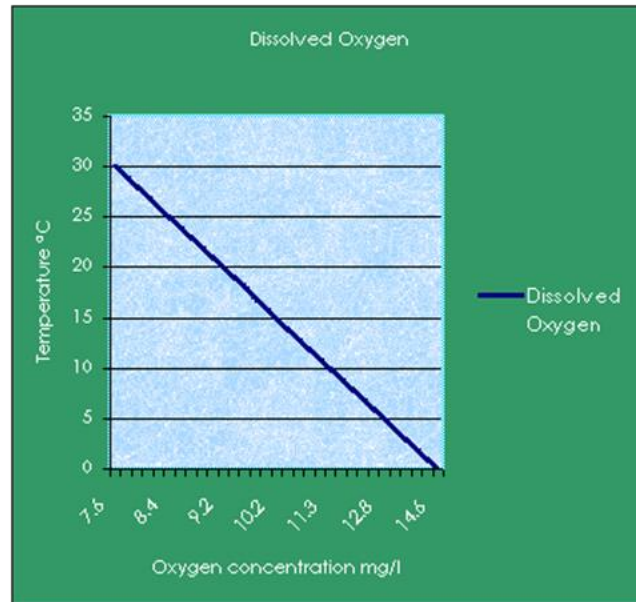


Figura 28. Relación entre de oxígeno disuelto y temperatura (Lenntech 2017).

Grandes cantidades de oxígeno son consumidas por descomposición de bacterias (cuando haya grandes cantidades de materia muerta para descomponerse, habrá un número significativo de bacterias). Ejemplos: materia orgánica muerta (algas), aguas residuales, residuos de jardines, aceites y grasas (Waterboards 2017).

El agua de las plantas de tratamiento de aguas residuales frecuentemente contiene materiales orgánicos que son descompuestos por microorganismos, que utilizan el oxígeno en los procesos. (La cantidad de oxígeno consumida por estos organismos en el rompimiento de los residuos se conoce como demanda bioquímica de oxígeno o DBO) (Milacron 2004).

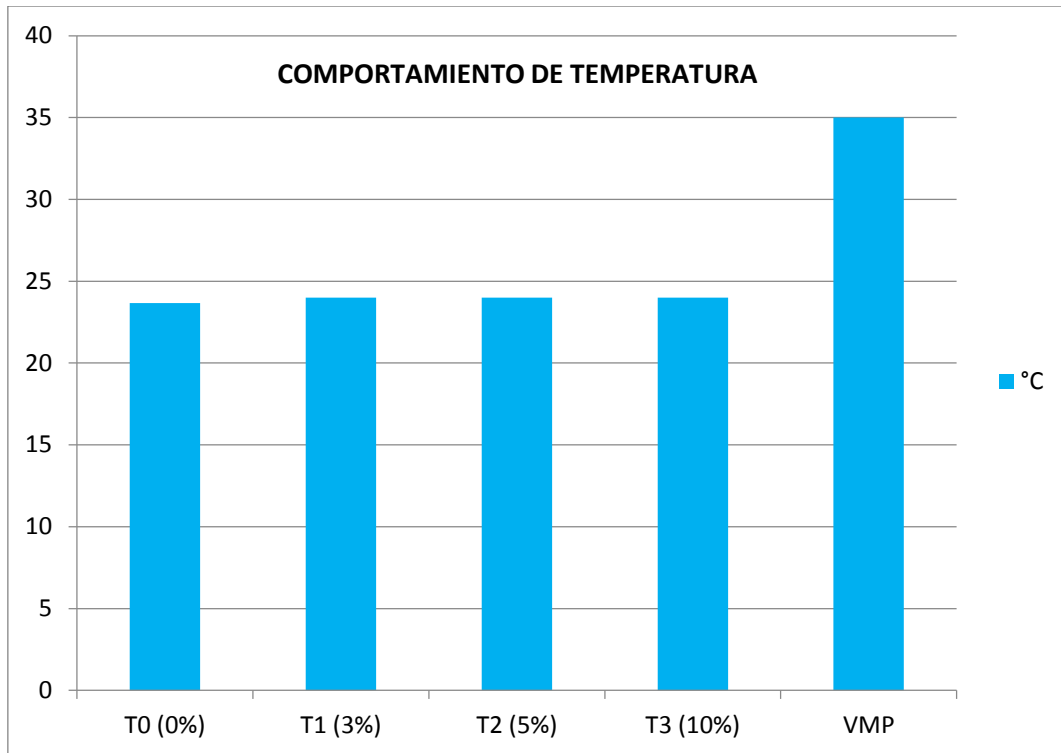
7.2.9. Temperatura.

La temperatura del agua residual es mayor que la temperatura de agua para abastecimiento, como consecuencia de la incorporación de agua caliente proveniente del uso doméstico e industrial (cuadro 14). Este parámetro es importante en el tratamiento de aguas residuales ya que muchos procesos biológicos dependen de la temperatura (Burgos Huevo 2014).

Cuadro 14. Resultados de análisis físico-químicos para temperatura.

Tratamiento (Concentración)	Repetición	Jornada 1 °C	Jornada 2 °C	Jornada 3 °C	Promedio °C
T-0 (0%)	1	24	22	25	23.66
	2	24	22	25	23.66
	3	24	22	25	23.66
	4	24	22	25	23.66
	5	24	22	25	23.66
T-1 (3%)	1	25	22	25	24.00
	2	25	22	25	24.00
	3	25	22	25	24.00
	4	25	22	25	24.00
	5	25	22	25	24.00
T-2 (5%)	1	25	22	25	24.00
	2	25	22	25	24.00
	3	25	22	25	24.00
	4	25	22	25	24.00
	5	25	22	25	24.00
T-3 (10%)	1	25	22	25	24.00
	2	25	22	25	24.00
	3	25	22	25	24.00
	4	25	22	25	24.00
	5	25	22	25	24.00

Fuente: elaboración propia



VMP=Valor Máximo Permissible; Unidad de medida:°C

Figura 29. Comportamiento de la temperatura promedio con la aplicación de microorganismos de montaña aplicando concentraciones de 3, 5 y 10%.

Asimismo, es determinante para el desarrollo de la actividad bacteriana, cuyo rango óptimo se encuentra entre 25 °C a 35 °C (figura 29). Cuando la temperatura se acerca a los 50 °C los procesos de digestión aerobia y nitrificación bacteriana se detienen; por otro lado, cuando la temperatura es menor a 5 °C la actividad microbiana se inhibe (Burgos Huevo 2014).

Para efectos de esta investigación, el agua residual ordinaria de la planta de tratamiento de San Luis Talpa cumple con los parámetros requeridos por la CONACYT (2009).

VIII. Conclusiones.

- El uso de microorganismos de montaña como un conjunto microbiológico, tuvo éxito en la disminución de coliformes totales y fecales de las aguas residuales ordinarias de la PTAR del casco urbano San Luis Talpa.
- Durante la fase de campo, se pudo evidenciar que la disminución de coliformes totales con respecto al límite máximo permitido por la NSO 13.49.01:09 2009 aplicando las concentraciones del 3, 5 y 10% de microorganismos de montaña corresponde al 99.91%, 99.96% y 99.98% utilizando un período de incubación de 4 días.
- La disminución de coliformes fecales con respecto al límite máximo permitido por la NSO 13.49.01:09 2009 aplicando las concentraciones del 3, 5 y 10% de microorganismos de montaña corresponde al 98.69%, 99.61% y 99.88% utilizando un período de incubación de 4 días.
- La adición de los microorganismos de montaña en las concentraciones de T1 (3%), T2 (5%) y T3 (10%) a las muestras de aguas residuales ordinarias, generaron una mayor exigencia en la Demanda Bioquímica de Oxígeno debido a la cantidad de materia orgánica presente en las muestras, requiriendo mayor cantidad de oxígeno para oxidarlas y degradarlas, por lo que no cumplieron con la NSO 13.49.01:09 2009.
- La adición de los microorganismos de montaña en las concentraciones de T1 (3%), T2 (5%) y T3 (10%) a las aguas residuales ordinarias de las diferentes repeticiones, acidificaron las muestras, siendo el Tratamiento 1 quien si cumplió con lo requerido por la normativa para este parámetro en específico.
- El aumento del contenido de nitratos, indicaría la presencia de bacterias nitrificantes en los diferentes tratamientos y repeticiones, siendo el T2 quien presenta los niveles más altos de producción de los mismos.
- El proceso de solubilización de los fosfatos queda evidenciado principalmente en el T3, sin embargo T1 y T2 contribuyen en menor escala a la disminución de este parámetro en las aguas inoculadas con los diferentes porcentajes de microorganismos

de montaña, pudiéndose asumir la presencia de bacterias promotoras de la solubilización en las 3 concentraciones investigadas.

- La procedencia del material coloidal al momento de la captura de los microorganismos de montaña, la adición de melaza durante la fase de reproducción en fase sólida y líquida de los MM, generó y evidenció un incremento notable de la turbidez en T1 y T2 en rango ascendente, sin embargo, esta condición disminuyó en T3 a pesar que su índice turbido fue mayor en comparación al testigo.
- El incremento de la conductividad eléctrica de T1, T2 y T3 de forma ascendente, obedeció al contenido coloidal de arcillas y limos presentes en el sustrato madre al momento de captura y reproducción de los microorganismos de montaña, los cuales fueron dosificados en concentraciones del 3, 5 y 10%.

IX. Recomendaciones.

- Realizar otros estudios que permitan cuantificar la eficiencia de los microorganismos de montaña en períodos menores de incubación para Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales de tipo ordinarias.
- Aplicar las aguas residuales resultantes de dicho proceso de depuración con microorganismos de montaña para riego de cultivos usando correctores de pH.
- Aplicar los microorganismos de montaña en períodos menores a los 4 días para mejorar la calidad de agua en bio-jardineras de sistemas de saneamiento comunitarios a través de un dispositivo complementario posterior a la trampa de grasa.
- Podrían aplicarse los microorganismos de montaña a sistemas de tratamientos de aguas residuales de tanques biodigestores en sistemas de saneamiento comunitarios.
- Resultaría interesante aplicar los microorganismos de montaña a los lodos provenientes de los procesos de tratamiento para bajar la contaminación por coliformes totales y fecales, así como también *Echerichia coli*.
- No se recomienda vertir las aguas residuales ordinarias tratadas con microorganismos de montaña al cuerpo receptor, mientras no hayan otros estudios en los cuales el DBO₅ y ODT tengan los niveles que exige la NSO 13.49.01:09

X. Bibliografía

ABC. 2007. Definición de recursos naturales. (en línea). Consultado en febrero 2017. Disponible en <http://www.definicionabc.com/geografia/recursosnaturales.php>

ANDA (Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados, El Salvador). 2010. Boletín Estadístico. (en línea). Consultado 20 marzo 2017. Disponible en <http://www.anda.gov.sv/wp-content/uploads/2015/03/boletin-estadistico-2010.pdf>.

ANDA (Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados, El Salvador). 1961. Ley de la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados. (en línea). Consultado 20 agosto 2017. Disponible en <http://www.anda.gov.sv/wpcontent/uploads/2015/03/ley-de-anda.pdf>.

Apella, M; Araujo, P. 2005. Microbiología del Agua. Conceptos Básicos. (en línea). Consultado 2 de diciembre 2018. Disponible en https://www.psa.es/es/projects/solarsafewater/documents/libro/02_Capitulo_02.pdf

APHA (American Public Health Association, US). 2012. Standard Methods For The Examination Of Water and Wastewater. 22 ed. (en línea). Consultado 19 julio 2017. Disponible en <http://www.standardmethods.org>.

Badii Castillo Rodríguez, W; Villalpando, P. 2015. Diseños experimentales e investigación científica. (en línea). Consultado. 20 marzo 2017. Disponible en http://www.web.facpya.uanl.mx/rev_in/Revistas/4.2/ A5.pdf.

Burgos Huevo, H. 2014, Universidad de El Salvador. El Salvador. Tesis de posgrado. 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. Consultado diciembre 2018.

Camacho, A; Giles M; Ortegón A; Palao M; Serrano B; Velázquez O. 2009. Técnicas para el Análisis Microbiológico de Alimentos. 2ª ed. (en línea). Consultado 20 Agosto 2017. Disponible en http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/TecnicBasicas-Colif-tot-fecales-Ecoli-NMP_6529.pdf

CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, El Salvador). 2009. Agua. Aguas residuales descargadas a un cuerpo receptor. NSO 13.49.01:09. Diario Oficial de la República de El Salvador 382: 1-17. (en línea). Consultado 10 feb. De 2016. Disponible en <http://faolex.fao.org/docs/pdf/els87596.pdf>.

DIGESTYC (Dirección General de Estadística y Censos, El Salvador). 2010. Encuesta de Hogares de Propósitos Múltiples. (en línea). Consultado 06 julio 2017. Disponible en <http://www.digestyc.gob.sv/index.php/temas/des/ehpm/publicaciones-ehpm.html>

Domínguez Ollero, R. 2015. Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales urbanas para poblaciones entre 20 y 25 mil habitantes. (en línea). Tesis de grado. Consultado octubre 2016. Disponible en http://earchivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/21486/TFG_Rocio_Dominguez_Ollero.pdf?sequence=1.Pdf. 107 p.

Echarri Prim L. 1998. Ciencias de la tierra y el medio ambiente. (en línea). Consultado 10/diciembre/2018. Disponible <http://www4.tecnun.es/asignaturas/Ecología/Hipertexto/00General/Principal.html>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Italia). 2008. Desarrollo Rural. (en línea). Consultado 08 octubre 2016. Disponible en <http://www.fao.org/tc/policy-support/competencias/desarrollo-rural/es/>

FUNDE (Fundación Nacional para el Desarrollo). El Salvador. 2001. Desarrollo Local y Descentralización. (en línea). Consultado 20 julio 2017. Disponible en http://www.repo.funde.org/359/1/CON_FEDELCA-1.pdf

FUNDESYRAM (Fundación para el Desarrollo Económico y Restauración Ambiental, El Salvador). 2016. Preparación y uso de microorganismos de montaña líquidos y Sólidos. (en línea). Consultado 08 septiembre 2016. Disponible en <http://www.fundesyram.info/biblioteca.php?id=1778>

FUNDESYRAM (Fundación para el Desarrollo Económico y Restauración Ambiental, El Salvador). 2016. Activación de microorganismos de montaña (fase líquida). (en línea). Consultado 08 septiembre 2016. Disponible en <http://www.fundesyram.info/biblioteca.php?id=3595>

Gobierno de El Salvador. El Salvador. 2009. Decreto No. 39. (en línea). Consultado 04 septiembre 2016. Disponible en <http://www.cne.gob.sv/index.php?option=com...view...5.....Aguasresiduales...reglamentoespecial de aguas residuales.pdf>. 10 p.

Hernández Sancho, F; Molinos Senante, M; Sala Garrido, R. España. 2012. Estado actual y evolución del saneamiento y la depuración de aguas residuales en el contexto nacional e internacional. (en línea). Consultado 20 agosto 2017. Disponible en <http://revistas.ucm.es/index.php/AGUC/article/viewFile/39309/37882>

LENNTech. Holanda. 2017. Por qué es importante el oxígeno disuelto en el agua. (en línea). Consultado 10 diciembre 2018. Disponible en <https://www.lenntech.es/sobre/sobre-lenntech.htm>

MARN (Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales, El Salvador). 2008. Construyendo la política del recurso hídrico en El Salvador hacia la gobernabilidad en la gestión del agua. (en línea). Consultado 17 agosto 2017. Disponible en http://www.marn.gob.sv/download/Construyendo_Política_Gestion_Integral_recursos_hidrico_MARN.pdf. 25 p.

MARN (Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales, El Salvador). 2015. MARN, la depuración de las aguas residuales urbanas en El Salvador. (en línea). Consultado 04 septiembre 2016. Consultado 17 agosto 2017. Disponible en <http://agua.marn.gob.sv/Documentos/TallerAguas2015/AspectosGeneralesFinal.pdf>. 25 p.

MARN (Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales, El Salvador). 2010. Informe de la calidad de agua de los ríos de El Salvador. (en línea). Consultado el 19 julio 2017. Disponible en <http://agua.marn.gob.sv/Documentos/Estudios/Calidadagua/CalidadAgua2010.pdf>

MARN (Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales, El Salvador). 2007. Ley del Medio Ambiente y sus reglamentos: Leyes Anexas. DISGRAFIC. 348 p.

Mendoza Lopez, L. 2015. Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales: Una visión como sistema complejo. (en línea). Revista Iberoamericana Universitaria en Ambiente, Sociedad y Sustentabilidad (9). Consultado 17 agosto 2017. Disponible en http://www.researchgate.net/publication/279861209_Plantas_de_tratamiento_de_aguas_residuales_una_vision_como_sistema_complejo.

MMS (Milacron Mexicana Sales). México. 2004. Reporte técnico. ¿Por qué es importante el Oxígeno Disuelto?. (en línea). Consultado 10 diciembre 2018. Disponible en <http://www.cimcool.ca/uploads/downloads/Porqueesimportanteeloxigenodisuelto.pdf>

MINSAL (Ministerio de Salud, El Salvador). 2004. Indicadores Básicos de Salud. (en línea) Consultado 04 de marzo 2017. Disponible en http://www.paho.org/els/index.php?option=com_content&view=article&id=25:indicadores-asicos-salud&Itemid=135.

MSPAS (Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, El Salvador). 2004. Monitoreo de los procesos de cambio (en línea). Consultado 04 marzo 2017. Disponible en <http://www.paho.org/hq/documents/events/puertorico05/mr1-els-puro05.pdf?ua=1>.

Martínez Erades, C. 2013. Gestión Integral del Recurso Hídrico. (en línea). Consultado 04 marzo 2017. Disponible en http://www.eumed.net/librosgratis/2013/1240/Definicion_de:...Gestion_integral_de_Recursos_Hidricos.htm

OEI (Organización de Estados Iberoamericanos, España). 2016. Desarrollo rural. (en línea). Consultado 05 mayo 2017. Disponible en <http://www.oei.es/histo-rico/década/accion.php?accion=022>.

OMS (Organización Mundial de la Salud, España). 2017. Agua. (en línea). Consultado 05 agosto 2017. Disponible en <http://www.who.int/topics/water/es/>

PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Italia). 2015. Agenda 2030 para el desarrollo sostenible. (en línea). Consultado 17 junio 2016. Disponible en <http://www.undp.org/content/undp/es/home/sdgoverview/>.

PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, El Salvador). 2006. El Agua: una valoración económica de los recursos hídricos en El Salvador. Cuadernos sobre Desarrollo Humano No. 5, San Salvador. 121 p.

Quintana, FAD. 2010. Análisis estadísticos de los parámetros de DQO, DBO5 y SS de las Aguas Residuales Urbanas en el ensuciamiento de las membranas de ósmosis inversa. Tesis Doctoral. Universidad Las Palmas de Gran Canaria. España. (en línea). Consultado 13 septiembre 2016. Disponible en http://acceda.ulpgc.es/bitstream/10553/2/0622200_00000_Pdf.200 p.

Raffo Lecca, E. 2014. Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. (en línea). Consultado 02 diciembre 2018. Disponible en <http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/idata/article/download/12035/10751>

Torres, A. 2015. Análisis de aguas residuales. (en línea). Consultado 20 noviembre 2018. Disponible en http://a21-granada.org/red-gramas/images/Presentacion_ANTONIO.pdf

UCC (Universidad Cooperativa de Colombia). 2015. Evaluación de la turbiedad y conductividad ocurrida en temporada seca y de lluvia en el río Combeima. (en línea). Consultado diciembre 09 2018. Disponible en <https://revistas.ucc.edu.co/index.php/in/article/viewFile/1191/1157>

UNEX (Universidad de Extremadura, España). 2006. Edafología. Ciencias Ambientales. (en línea). Consultado diciembre 08 2018. Disponible en <http://www.eweb.unex.es/eweb/edafo/ECAP/ecal6mbACTLibNutr.htm>

Waterboards. Estados Unidos de Norte América. 2017. Boletín informativo. Oxígeno disuelto. (en línea). Consultado 10 diciembre 2018. Disponible en https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3110sp.pdf

Webquery. El Salvador. 2008. Situación del agua en El Salvador. (en línea). Consultado 08 octubre 2016. Disponible <http://webquery.ujmd.edu.sv/siab/bvirtual/Fulltext/ADCE0000546/Capitulo%201>. Pdf. 8 p.

XI. Anexos.

Anexo 1. Norma Salvadoreña Obligatoria 13. 49.01:09

46

DIARIO OFICIAL Tomo N° 382

NORMA SALVADOREÑA

NSO 13.49.01:09

Tabla 1. Valores máximos de parámetros de aguas residuales de tipo ordinario, para descargar a un cuerpo receptor.

ACTIVIDAD	DQO (mg/l)	DBO _{5,20} (mg/l)	Sólidos Sedimentables (ml/l)	Sólidos Suspendidos Totales (mg/l)	Aceites y grasas (mg/l)
AGUAS RESIDUALES DE TIPO ORDINARIO	150	60	1	60	20

Tabla 2. Valores máximos permisibles de parámetros para verter aguas residuales de tipo especial al cuerpo receptor por tipo de actividad

ACTIVIDAD	DQO (mg/l)	DBO _{5,20} (mg/l)	Sólidos sedimentables (ml/l)	Sólidos suspendidos totales (mg/l)	Aceites y grasas (mg/l)
I. ANIMALES VIVOS Y PRODUCTOS DEL REINO ANIMAL					
1. Producción agropecuaria ¹⁾	800	300	15	150	50
2. Matanza de ganado y preparación y conservación de carnes	400	200	15	125	50
3. Procesamiento de camarón, mariscos en forma congelada	750	250	15	350	130
4. Enlatados de manseos y fabricación de sus harinas	300	150	15	100	50
5. Productos avícolas	800	300	15	150	50
6. Porcicultura	1800 ²⁾	300	15	150	50
7. Procesamiento del atún y sus derivados	1800	600	15	350	50
II. PRODUCTOS DEL REINO VEGETAL					
1. Productos de molinería	400	200	15	200	50
2. Beneficiado de café	2500 ²⁾	2000 ²⁾	40	1000	30
3. Fabricación de productos de panaderías	250	200	15	70	100
4. Fabricas y refineries de azúcar	600	400	30	150	30
5. Fabricación de chocolate y artículos de confitería, procesamiento de cacao	400	250	15	150	100
6. Elaboración de alimentos preparados para animales	250	60	15	100	50
7. Industria del tabaco	100	60	15	60	20
III. GRASAS Y ACEITES ANIMALES Y VEGETALES					
1. Extractoras de aceites y grasas	700	400	15	150	200
2. Refinadora de aceites y grasas	300	150	15	100	200
IV. PRODUCTOS DE LAS INDUSTRIAS ALIMENTARIAS, BEBIDAS, LIQUIDOS ALCOHOLICOS, TABACO Y SUCEDANEOS					
1. Fabricación de productos lácteos	900	600	75	300	75
2. Envasado y conservación de frutas y legumbres, incluyendo la elaboración de jugos	400	150	15	150	60
3. Elaboración de productos alimenticios diversos	400	150	15	150	45
4. Destilación, rectificación y mezclas de bebidas espirituosas	3500	3000	15	1000	20
5. Bebidas malteadas y de malta	800	260	30	100	30
6. Industrias de bebidas no alcohólicas y aguas gaseosas	400	200	30	100	30
V. PRODUCTOS MINERALES					
1. Extracción de minerales no ferrosos	100	60	15	100	20
2. Fabricación de objetos de barro, loza y porcelana	300	100	15	100	20
3. Fabricación de vidrio y productos de vidrio	100	60	15	40	30
4. Fabricación de productos minerales no metálicos	100	60	15	100	20
5. Industrias básicas de hierro y acero	200	60	10	30	30
6. Industrias básicas de metales no ferrosos	200	60	10	30	30

¹⁾ No estarán incluidas en esta actividad las ya expuestas en la tabla

²⁾ Siempre y cuando el cuerpo receptor lo permita.

Continuación...

NORMA SALVADOREÑA

NSO 13.49.01:09

Continuación...

ACTIVIDAD	DQO (mg/l)	DBO _{5,20} (mg/l)	Sólidos sedimentables (ml/l)	Sólidos suspensidos totales (mg/l)	Aceites y grasas (mg/l)
VI. PRODUCTOS DE LAS INDUSTRIAS QUIMICAS					
1. Fabricación de abonos	180	60	10	50	30
2. Fabricación de resinas sintéticas, materias plásticas y fibras artificiales, excepto el vidrio	500	250	15	100	20
3. Fabricación de pinturas, barnices y lacas	300	100	15	100	30
4. Fabricación de productos farmacéuticos y medicamentos	300	100	15	100	30
5. Fabricación de jabones y preparados de limpieza, perfumes, cosméticos y otros productos de tocador	450	300	15	200	40
6. Refinación y/o Fabricación de productos diversos derivados del petróleo y del carbón	600	200	30	200	30
7. Industrias de llantas y cámaras	100	60	15	60	20
8. Expendios de combustibles	100	60	15	70	20
9. Lavado de vehículos	100	40	15	60	30
10. Lavanderías, tintorerías	300	100	15	100	30
11. Rellenos sanitarios y otras instalaciones de manejo de desechos	1500	500	15	200	20
12. Fabricación de baterías	400	200	15	800	20
VII. MATERIAS PLASTICAS, CAUCHO Y SUS MANUFACTURAS					
1. Fabricación de productos plásticos	100	50	15	60	30
VIII. PIELS, CUEROS, TALABARTERÍA Y PELETERIA					
1. Curtidurías y talleres de acabado	1500	850	15	150	50
IX. PASTAS DE MADERA, PAPEL Y CARTÓN, MANUFACTURAS Y APLICACIONES					
1. Fabricación de pulpa de madera, papel y cartón	350	200	15	300	20
2. Fabricación de envases y cajas de cartón	400	150	15	100	30
3. Fabricación de envases y cajas de papel y de cartón	400	150	15	100	30
X. MATERIAS TEXTILES Y SUS MANUFACTURAS					
1. Hilados, tejidos y acabados textiles	400	200	15	150	35
XI. CALZADO Y ARTICULOS ANALOGOS					
1. Fabricación de productos de cuero y artículos sucedáneos de cuero	180	60	15	60	30
XII. PERLA, PIEDRAS Y METALES PRECIOSOS					
1. Fabricación de joyas y artículos conexos	300	100	15	100	30
XIII. METALES COMUNES Y SUS MANUFACTURAS					
1. Fabricación de cuchillería, herramientas manuales y artículos generales de ferretería	300	100	15	100	30
2. Fabricación de muebles y accesorios principalmente metálicos	300	100	15	100	30
3. Fabricación de productos metálicos estructurales	300	100	15	100	30
4. Fabricación de productos metálicos exceptuando maquinaria y equipo	300	100	15	100	30

Continuación...

Tabla 3. Parámetros Complementarios sobre Valores Permisibles para Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor

Parámetros	Valores máximos permisibles
Aluminio (Al)	mg/l 5
Arsénico (As)	mg/l 0,1
Bario total (Ba)	mg/l 5
Berilio (Be)	mg/l 0,5
Boro (B)	mg/l 1,5
Cadmio (Cd)	mg/l 0,1
Cianuro total (CN ⁻)	mg/l 0,5
Cinc (Zn)	mg/l 5
Cobalto (Co)	mg/l 0,05
Cobre (Cu)	mg/l 1
Coliformes fecales	NMP/100ml 2 000
Coliformes totales	NMP/100ml 10 000
Color	0 ¹⁾
Compuestos fenólicos sintéticos	mg/l 0,5
Cromo hexavalente (Cr ⁺⁶)	mg/l 0,1
Cromo total (Cr)	mg/l 1
Detergentes (SAAM)	mg/l 10
Fluoruros (F)	mg/l 5
Fósforo total (P)	mg/l 15
Organofluorina	mg/l 0,1
Fosfatina	mg/l 0,1
Benzimidazol	mg/l 0,1
Piretroides	mg/l 0,1
Bipiridilos	mg/l 0,1
Fenoxi	mg/l 0,1
Triazina	mg/l 0,1
Fosfónico	mg/l 0,1
Hierro total (Fe)	mg/l 10
Litio (Li)	mg/l 2

Continúa

¹⁾ efluente líquido no deberá incrementar color visible al cuerpo receptor

Continuación...

Tabla 3. Parámetros Complementarios sobre Valores Permisibles para Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor

Parámetros		Valores máximos permisibles
Manganeso total (Mn)	mg/l	2
Materiales flotantes	mg/l	Ausentes
Mercurio (Hg)	mg/l	0,01
Molibdeno (Mo)	mg/l	0,1
Níquel (Ni)	mg/l	0,2
Nitrógeno total (N)	mg/l	50
Organoclorados	mg/l	0,05
Organofosforados y Carbamatos	mg/l	0,1
pH	Unidades	5,5 - 9,0 ²⁾
Plata (Ag)	mg/l	0,2
Plomo (Pb)	mg/l	0,4
Selenio (Se)	mg/l	0,05
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	mg/l	1000
Sustancias radiactivas	-	0
Temperatura	°C	20-35 °C ³⁾
Turbidez (Turbiedad)	NTU	⁴⁾
Vanadio (V)	mg/l	1

²⁾ El valor de pH 5,5-9,0 aplica para descargas en aguas limnias; definiéndose un valor de pH entre 6.0-9.5 para vertidos en aguas costero marinas

³⁾ En todo caso la temperatura del H₂O de descarga al cuerpo receptor no podrá alterar ± 5 °C, con respecto a la temperatura natural del cuerpo hídrico receptor.

⁴⁾ No se incrementara en 5 Unidades la turbidez del cuerpo receptor.

Anexo 2. Resultados de parámetros físico-químicos.



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
DEPARTAMENTO DE QUIMICA
AGRICOLA
FACULTAD DE CIENCIAS
AGRONOMICAS



RESULTADO DE ANALISIS QUIMICO DE AGUAS RESIDUALES PLANTA DE TRATAMIENTO SAN LUIS TALPA MUESTREO1

Muestra	DB05 mg/L	pH	STD mg/L	NO ₃ ⁻ mg/L	PO ₄ ³⁻ mg/L	TURBIDEZ FAU	COND μ/cm	OD mg/L
T0A	1296	7.22	424	0.67	2.39	73	799	0.52
T0B	1308	7.07	401	2.94	2.69	85	744	0.85
T0C	1302	7.33	405	2.28	2.14	120	747	0.4
T0D	1356	7.01	398	2.7	2.76	70	737	0.59
T0E	1287	7.03	393	2.71	2.88	86	733	0.76
T1A	633	6.84	389	2.75	2.19	105	761	0.16
T1B	402	6.76	385	2.79	2.08	169	551	0.12
T1C	405	6.76	389	2.28	2.92	203	758	0.16
T1D	510	6.81	386	3.4	2.3	216	769	0.11
T1E	450	7.36	193.9	4.31	0.19	112	355	0.12
T2A	627	5.15	556	9.42	3.03	217	934	0.13
T2B	420	5.26	545	7.92	2.46	219	922	0.22
T2C	351	5.24	549	6.48	0.15	201	943	0.24
T2D	486	5.69	486	4.72	1.33	184	872	0.43
T2E	606	5.26	544	6.53	0.27	224	953	0.32
T3A	498	5.06	699	4.54	2.61	105	1343	0.21
T3B	348	5.02	695	4.73	2.95	115	1334	0.23
T3C	225	4.98	697	4.78	2.77	112	1331	0.24
T3D	1122	4.97	694	4.59	2.41	109	1331	0.22
T3E	1293	4.94	700	4.62	2.4	108	1341	0.24


Lic. M.Sc. Ada Yanira de Linares
Analista


Lic. M.Sc. Freddy Alexander Carranza Estrada
Jefe de Departamento





UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
DEPARTAMENTO DE QUIMICA
AGRICOLA
FACULTAD DE CIENCIAS
AGRONOMICAS



RESULTADO DE ANALISIS QUIMICO DE AGUAS RESIDUALES
PLANTA DE TRATAMIENTO SAN LUIS TALPA
MUESTREO 2

Muestra	DB05 mg/L	pH	STD mg/L	NO ₃ ⁻ mg/L	PO ₄ ³⁻ mg/L	TURBIDEZ FAU	COND μ/cm	OD mg/L
T0A	570	7.0	433	1.6	14.3	85	841	0.24
T0B	393	6.99	435	1.24	13	92	845	0.21
T0C	303	7.02	436	1.52	13	89	845	0.18
T0D	309	7.06	436	1.49	13.1	95	848	0.29
T0E	1293	7.08	437	1.72	12.6	98	852	0.19
T1A	1041	6.33	466	2.32	13.02	87	836	0.12
T1B	885	6.34	487	2.32	13.6	86	847	0.14
T1C	801	6.35	484	2.34	12.87	87	834	0.12
T1D	927	6.36	489	2.34	13.8	86	846	0.11
T1E	783	6.37	487	2.32	12.51	87	832	0.12
T2A	927	5.83	465	3.28	10.9	242	859	0.32
T2B	741	5.84	476	3.83	12.1	243	869	0.22
T2C	651	5.85	475	4.06	11.6	242	859	0.19
T2D	690	5.81	470	3.81	11.9	242	867	0.15
T2E	864	5.85	478	3.99	11.6	242	871	0.17
T3A	1416	5.1	657	4.34	2.23	98	987	0.12
T3B	1431	5.14	654	4.45	2.43	96	997	0.81
T3C	1392	5.11	647	4.57	2.56	98	986	0.53
T3D	1353	5.12	658	4.45	2.57	96	995	0.22
T3E	1515	5.16	654	4.46	2.58	97	945	0.34

Lic.M/Sc. Ada Yanira de Linares
Analista

Lic.M.Sc. Freddy Alexander Carranza Estrada
Jefe de Departamento





RESULTADO DE ANALISIS QUIMICO DE AGUAS RESIDUALES
PLANTA DE TRATAMIENTO SAN LUIS TALPA
MUESTREO 3



Muestra	DB05 mg/L	pH	STD mg/L	NO ₃ ⁻ mg/L	PO ₄ ³⁻ mg/L	TURBID EZ FAU	COND μ/cm	OD mg/L
								0.26
TOA	396	7.02	483	1.67	12.5	80	982	
TOB	387	7.27	481	1.67	12.89	79	944	0.19
TOC	435	7.19	475	1.45	12.56	80	935	0.23
TOD	405	7.19	475	1.43	12.23	81	936	0.15
TOE	495	7.19	483	1.67	12.59	78	948	0.14
T1A	951	4.36	442	2.45	12.56	84	865	0.71
T1B	924	4.37	442	2.56	12.34	83	856	0.89
T1C	774	4.35	445	2.67	12.48	87	858	0.72
T1D	948	4.34	445	2.89	12.93	85	855	0.84
T1E	840	4.32	447	2.42	12.6	84	864	0.78
T2A	1089	4.56	440	4.3	11.67	176	890	0.45
T2B	1020	4.47	443	3.99	11.98	156	876	0.46
T2C	1077	4.43	434	4.01	12.00	178	882	0.43
T2D	1098	4.42	433	4.03	12.2	189	880	0.34
T2E	1002	4.44	431	4.06	12.1	198	877	0.56
T3A	1137	3.81	435	4.36	2.13	99	813	0.22
T3B	1251	3.8	437	4.28	2.11	98	815	0.23
T3C	1248	3.77	450	4.92	2.61	97	823	0.23
T3D	1269	3.8	423	4.67	2.4	97	820	0.24
T3E	1269	3.89	437	4.86	2.65	97	840	0.24


Lic. M.Sc. Ada Yanira de Linares
Analista


Lic. M.Sc. Freddy Alexander Carranza Estrada
Jefe de Departamento



Anexo 3. Resultados de parámetros microbiológicos en laboratorios de CID-ANDA.

	Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados, ANDA		 CIDE
	Centro de Investigación y Desarrollo CIDE-GASCR	Código: F2	
	Registros	Número: 0217	
	Resultado de Calidad del Agua	Página: 1 de 1	



Cliente: ANDA-UES	Identificación de muestra: T-0-2		
Dirección: Planta de Tratamiento para Aguas Residuales, San Luis Talpa, La Paz.	Fecha de recepción: 23/08/2018	Hora: 2:13 p.m	
Punto de Muestreo: Sedimentador Primario	Fecha de Análisis: 23/08/2018	Hora: 2:30 p.m	
Fecha de Muestreo: 23/08/2018	Hora: 10:00 a.m	Tipo de Agua: Cruda	Origen: Producción

Parámetros	Resultados					Unidad	Límite Máximo Permissible NSO 13.49.01.09	Método de Referencia
	T0-1	T0-2	T0-3	T0-4	T0-5			
Microbiológicos								
Coliformes Totales	>2,419.6	>2,419.6	>2,419.6	>2,419.6	>2,419.6	NMP/100ml	10,000	9223B. Enzyme Substrate test. APHA
Coliformes Fecales	>2,419.6	>2,419.6	>2,419.6	>2,419.6	>2,419.6	NMP/100ml	2,000	9223B. Enzyme Substrate test. APHA
Físico-Químicos								
Temperatura	24					°C	20-35°C	2550B. Laboratory & Field M. APHA
pH	6					---	5.5-9.0	4500-HB. Electrometric M. APHA

Observaciones:
 Los resultados corresponden a la muestra de agua analizada.
 El valor reportado es utilizando una dilución de 1%, por tanto los valores reales son mayores por el tipo de agua analizada.

Firma y sello de Analista/s:



	Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados, ANDA		
	Centro de Investigación y Desarrollo CIDE-GASCR	Código: F2	
	Registros	Número: 0217	
	Resultado de Calidad del Agua	Página: 1 de 1	



Cliente: ANDA-UES	Identificación de muestra: T-1-2		
Dirección: Planta de Tratamiento para Aguas Residuales, San Luis Talpa, La Paz.	Fecha de recepción: 23/08/2018	Hora: 2:13 p.m	
Punto de Muestreo: Contenedor 1	Fecha de Análisis: 23/08/2018	Hora: 2:30 p.m	
Fecha de Muestreo: 23/08/2018	Hora: 01:00 p.m.	Tipo de Agua: Tratada	Origen: Producción

Parámetros	Resultados					Unidad	Límite Máximo Permisible NSO 13.49.01-09	Método de Referencia
	T1-1	T1-2	T1-3	T1-4	T1-5			
Microbiológicos								
Coliformes Totales	86.9	73.8	66.3	72.3	69.5	NMP/100ml	10,000	9223B. Enzyme Substrate test. APHA
Coliformes Fecales	27.8	19.1	14.5	17.1	30.5	NMP/100ml	2,000	9223B. Enzyme Substrate test. APHA
Físico-Químicos								
Temperatura	25					°C	20-35°C	2550B. Laboratory & Field M. APHA
pH	7					---	5.5-9.0	4500-10B. Electrometric M. APHA

Observaciones:
Los resultados corresponden a la muestra de agua analizada.

Firma y sello de Analista/s:




	Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados, ANDA		 CIDE
	Centro de Investigación y Desarrollo CIDE-GASCR	Código: F2	
	Registros	Número: 0217	
	Resultado de Calidad del Agua	Página: 1 de 1	



Cliente: ANDA-UES	Identificación de muestra: T-2-2	
Dirección: Planta de Tratamiento para Aguas Residuales, San Luis Talpa, La Paz.	Fecha de recepción: 23/08/2018	Hora: 2:13 p.m
Punto de Muestreo: Contenedor 2	Fecha de Análisis: 23/08/2018	Hora: 2:30 p.m
Fecha de Muestreo: 23/08/2018	Hora: 01:05 p.m.	Tipo de Agua: Tratada Origen: Producción

Parámetros	Resultados					Unidad	Límite Máximo Permissible NSO 13.49.01:09	Método de Referencia
	T2-1	T2-2	T2-3	T2-4	T2-5			
Microbiológicos								
Coliformes Totales	29.6	23.5	11.0	15.5	8.6	NMP/100ml	10,000	9223B. Enzyme Substrate test. APHA
Coliformes Fecales	10.8	16.6	3.1	3.1	1.0	NMP/100ml	2,000	9223B. Enzyme Substrate test. APHA
Físico-Químicos								
Temperatura	25					°C	20-35°C	2550B. Laboratory & Field M. APHA
pH	7					---	5.5-9.0	4500-HB. Electrometric M. APHA

Observaciones:
Los resultados corresponden a la muestra de agua analizada.

Firma y sello de Analista/s:



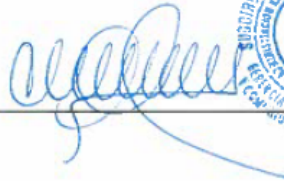

	Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados, ANDA		 CID
	Centro de Investigación y Desarrollo CIDE-GASCR	Código: F2	
	Registros	Número: 0217	
	Resultado de Calidad del Agua	Página: 1 de 1	



Cliente: ANDA-UES	Identificación de muestra: T-3-2
Dirección: Planta de Tratamiento para Aguas Residuales, San Luis Talpa, La Paz.	Fecha de recepción: 23/08/2018 Hora: 2:13 p.m
Punto de Muestreo: Contenedor 3	Fecha de Análisis: 23/08/2018 Hora: 2:30 p.m
Fecha de Muestreo: 23/08/2018 Hora: 01:10 p.m.	Tipo de Agua: Tratada Origen: Producción

Parámetros	Resultados					Unidad	Límite Máximo Permisible NSO 13.49.01:09	Método de Referencia
	T3-1	T3-2	T3-3	T3-4	T3-5			
Microbiológicos								
Coliformes Totales	4.1	4.1	5.1	4.1	1.0	NMP/100ml	10,000	5223B. Enzyme Substrate test. APHA
Coliformes Fecales	2.0	1.0	1.0	3.0	1.0	NMP/100ml	2,000	5223B. Enzyme Substrate test. APHA
Físico-Químicos								
Temperatura	25					°C	20-35°C	2550-B. Laboratory & Field M. APHA
pH	7					---	5.5-9.0	4500-HB. Electrometric M. APHA

Observaciones:
Los resultados corresponden a la muestra de agua analizada.

Firma y sello de Analista/s:




	Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados, ANDA		
	Centro de Investigación y Desarrollo CIDE-GASCR	Código: F2	
	Registros	Número: 0217	
	Resultado de Calidad del Agua	Página: 1 de 1	



Cliente: ANDA-UES	Identificación de muestra: T-0-1	
Dirección: Planta de Tratamiento para Aguas Residuales, San Luis Talpa, La Paz.	Fecha de recepción: 01/08/2018	Hora: 11:50 a.m
Punto de Muestreo: Sedimentador Primario	Fecha de Análisis: 01/08/2018	Hora: 12:30 p.m
Fecha de Muestreo: 01/08/2018	Hora: 07:30	Tipo de Agua: Cruda Origen: Producción

Parámetros	Resultados					Unidad	Límite Máximo Permisible NSO 13.49.01:09	Método de Referencia
	T0-1	T0-2	T0-3	T0-4	T0-5			
Microbiológicos								
Coliformes Totales	>2,419.6	>2,419.6	>2,419.6	>2,419.6	>2,419.6	NMP/100ml	10,000	9223B. Enzyme Substrate test. APHA
Coliformes Fecales	>2,419.6	>2,419.6	>2,419.6	>2,419.6	>2,419.6	NMP/100ml	2,000	9223B. Enzyme Substrate test. APHA
Físico-Químicos								
Temperatura	22					°C	20-35°C	2550B. Laboratory BField m. APHA
pH	6					---	5.5-9.0	4500-HB. Electrometric M. APHA

Observaciones:
 Los resultados corresponden a la muestra de agua analizada.
 El valor reportado es utilizando una dilución de 1%, por tanto los valores reales son mayores por el tipo de agua analizada.

Firma y sello de Analista/s:




	Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados, ANDA		 CIDE
	Centro de Investigación y Desarrollo CIDE-GASCR	Código: F2	
	Registros	Número: 0217	
	Resultado de Calidad del Agua	Página: 1 de 1	

Cliente: ANDA-UES	Identificación de muestra: T-1-1
Dirección: Planta de Tratamiento para Aguas Residuales, San Luis Talpa, La Paz.	Fecha de recepción: 01/08/2018 Hora: 11:50 a.m
Punto de Muestreo: Contenedor 1	Fecha de Análisis: 01/08/2018 Hora: 12:30 p.m
Fecha de Muestreo: 01/08/2018 Hora: 09:30 a.m.	Tipo de Agua: Tratada Origen: Producción



Parámetros	Resultados					Unidad	Limite Máximo Permisible NSO 13.49.01:09	Método de Referencia
	T1-1	T1-2	T1-3	T1-4	T1-5			
Microbiológicos								
Coliformes Totales	6.2	34.5	24.5	11.6	15.6	NMP/100ml	10,000	9223B. Enzyme Substrate test. APHA
Coliformes Fecales	3.1	4.1	3.5	2	1	NMP/100ml	2,000	9223B. Enzyme Substrate test. APHA
Físico-Químicos								
Temperatura	22					°C	20-35°C	2550B. Laboratory & Field M. APHA
pH	7					---	5.5-9.0	4500-HB. Electrometric M. APHA

Observaciones:
 Los resultados corresponden a la muestra de agua analizada.

Firma y sello de Analista/s:



The stamp is circular and contains the following text: "DIRECCIÓN DE INGENIERÍA Y PROYECTOS", "ADMINISTRACIÓN NACIONAL DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS", "ANDA", "CALLE EL ALGODÓN, SAN SALVADOR, C.A.", "DIRECCIÓN DE ATENCIÓN A SISTEMAS DE SERVICIOS RURALES C21-ANPA".

	Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados, ANDA		
	Centro de Investigación y Desarrollo CIDE-GASCR	Código: F2	
	Registros	Número: 0217	
	Resultado de Calidad del Agua	Página: 1 de 1	



Cliente: ANDA-UES	Identificación de muestra: T-2-1	
Dirección: Planta de Tratamiento para Aguas Residuales, San Luis Talpa, La Paz.	Fecha de recepción: 01/08/2018	Hora: 11:50 a.m
Punto de Muestreo: Contenedor 2	Fecha de Análisis: 01/08/2018	Hora: 12:30 p.m
Fecha de Muestreo: 01/08/2018	Hora: 09:40 a.m.	Tipo de Agua: Tratada Origen: Producción

Parámetros	Resultados					Unidad	Límite Máximo Permisible NSO 13.49.01:09	Método de Referencia
	T2-1	T2-2	T2-3	T2-4	T2-5			
Microbiológicos								
Coliformes Totales	3.1	2	3.1	2	3.1	NMP/100ml	10,000	5123B. Enzyme Substrate test. APHA
Coliformes Fecales	2	2	3.1	2	3.1	NMP/100ml	2,000	5123B. Enzyme Substrate test. APHA
Físico-Químicos								
Temperatura	22					°C	20-35°C	2550B. Laboratory & Field M. APHA
pH	7					---	5.5-9.0	4500-HB. Electrometric M. APHA

Observaciones:
Los resultados corresponden a la muestra de agua analizada.

Firma y sello de Analista/s:




	Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados, ANDA		 CIDE
	Centro de Investigación y Desarrollo CIDE-GASCR	Código: F2	
	Registros	Número: 0217	
	Resultado de Calidad del Agua	Página: 1 de 1	



Cliente: ANDA-UES	Identificación de muestra: T-3-1		
Dirección: Planta de Tratamiento para Aguas Residuales, San Luis Talpa, La Paz.	Fecha de recepción: 01/08/2018	Hora: 11:50 a.m	
Punto de Muestreo: Contenedor 3	Fecha de Análisis: 01/08/2018	Hora: 12:30 p.m	
Fecha de Muestreo: 01/08/2018	Hora: 09:50 a.m.	Tipo de Agua: Tratada	Origen: Producción

Parámetros	Resultados					Unidad	Límite Máximo Permissible NSO 13.49.01:09	Método de Referencia
	T3-1	T3-2	T3-3	T3-4	T3-5			
Microbiológicos								
Coliformes Totales	2	3.1	2	3.1	2	NMP/100ml	10,000	9223B. Enzyme Substrate test. APHA
Coliformes Fecales	2	3.1	2	3.1	2	NMP/100ml	2,000	9223B. Enzyme Substrate test. APHA
Físico-Químicos								
Temperatura	22					°C	20-35°C	2550B. Laboratory & Field M. APHA
pH	7					---	5.5-9.0	4300-HL. Electrometric M. APHA

Observaciones:
Los resultados corresponden a la muestra de agua analizada.

Firma y sello de Analista/s:



	Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados, ANDA		 CIDE
	Centro de Investigación y Desarrollo CIDE-GASCR	Código: F2	
	Registros	Número: 0217	
	Resultado de Calidad del Agua	Página: 1 de 1	



Cliente: ANDA-UES	Identificación de muestra: T-0-3		
Dirección: Planta de Tratamiento para Aguas Residuales, San Luis Talpa, La Paz.	Fecha de recepción: 18/09/2018	Hora: 1:34 p.m	
Punto de Muestreo: Sedimentador Primario	Fecha de Análisis: 18/09/2018	Hora: 2:00 p.m	
Fecha de Muestreo: 18/09/2018	Hora: 10:00 a.m	Tipo de Agua: Cruda	Origen: Producción

Parámetros	Resultados					Unidad	Límite Máximo Permissible NSO 13.49.01:09	Método de Referencia
	T0-1	T0-2	T0-3	T0-4	T0-5			
Microbiológicos								
Coliformes Totales	>2,419.6	>2,419.6	>2,419.6	>2,419.6	>2,419.6	NMP/100ml	10,000	9223B. Enzyme Substrate test. APHA
Coliformes Fecales	>2,419.6	>2,419.6	>2,419.6	>2,419.6	>2,419.6	NMP/100ml	2,000	9223B. Enzyme Substrate test. APHA
Físico-Químicos								
Temperatura	25					°C	20-35°C	2550B. Laboratory & Field M. APHA
pH	6					---	5.5-9.0	4500-HB. Electrometric M. APHA

Observaciones:
 Los resultados corresponden a la muestra de agua analizada.
 El valor reportado es utilizando una dilución de 1%, por tanto los valores reales son mayores por el tipo de agua analizada.

Firma y sello de Analista/s:




	Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados, ANDA		 CIDE
	Centro de Investigación y Desarrollo CIDE-GASCR	Código: F2	
	Registros	Número: 0217	
	Resultado de Calidad del Agua	Página: 1 de 1	



Cliente: ANDA-UES	Identificación de muestra: T-1-3
Dirección: Planta de Tratamiento para Aguas Residuales, San Luis Talpa, La Paz.	Fecha de recepción: 18/09/2018 Hora: 1:34 p.m.
Punto de Muestreo: Contenedor 1	Fecha de Análisis: 18/09/2018 Hora: 2:00 p.m.
Fecha de Muestreo: 18/09/2018 Hora: 12:30 p.m.	Tipo de Agua: Tratada Origen: Producción

Parámetros	Resultados					Unidad	Limite Máximo Permissible NSO 13.49.01.09	Método de Referencia
	T1-1	T1-2	T1-3	T1-4	T1-5			
Microbiológicos								
Coliformes Totales	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	NMP/100ml	10,000	9223B. Enzyme Substrate test. APHA
Coliformes Fecales	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	NMP/100ml	2,000	9223B. Enzyme Substrate test. APHA
Físico-Químicos								
Temperatura	25					°C	20-35°C	2550B. Laboratory & Field M. APHA
pH	7					—	5.5-9.0	4500-HB. Electrometric M. APHA

Observaciones:
Los resultados corresponden a la muestra de agua analizada.

Firma y sello de Analista/s:




	Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados, ANDA		 CDE
	Centro de Investigación y Desarrollo CIDE-GASCR	Código: F2	
	Registros	Número: 0217	
	Resultado de Calidad del Agua	Página: 1 de 1	



Cliente: ANDA-UES	Identificación de muestra: T-2-3		
Dirección: Planta de Tratamiento para Aguas Residuales, San Luis Talpa, La Paz.	Fecha de recepción: 18/09/2018	Hora: 1:34 p.m	
Punto de Muestreo: Contenedor 2	Fecha de Análisis: 18/09/2018	Hora: 2:00 p.m	
Fecha de Muestreo: 18/09/2018	Hora: 12:35 p.m.	Tipo de Agua: Tratada	Origen: Producción

Parámetros	Resultados					Unidad	Límite Máximo Permisible NSO 13.49.01:09	Método de Referencia
	T2-1	T2-2	T2-3	T2-4	T2-5			
Microbiológicos								
Coliformes Totales	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	NMP/100ml	10,000	5223B. Enzyme Substrate test. APHA
Coliformes Fecales	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	NMP/100ml	2,000	5223B. Enzyme Substrate test. APHA
Físico-Químicos								
Temperatura	25					°C	20-35°C	2550B. Laboratory & Field M. APHA
pH	7					—	5.5-9.0	4500-HB. Electrometric M. APHA

Observaciones:
Los resultados corresponden a la muestra de agua analizada.

Firma y sello de Analista/s:




	Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados, ANDA		 CIDE
	Centro de Investigación y Desarrollo CIDE-GASCR	Código: F2	
	Registros	Número: 0217	
	Resultado de Calidad del Agua	Página: 1 de 1	

Cliente: ANDA-UES	Identificación de muestra: T-3-3	
Dirección: Planta de Tratamiento para Aguas Residuales, San Luis Talpa, La Paz.	Fecha de recepción: 18/09/2018	Hora: 1:34 p.m.
Punto de Muestreo: Contenedor 3	Fecha de Análisis: 18/09/2018	Hora: 2:00 p.m.
Fecha de Muestreo: 18/09/2018	Hora: 12:40 p.m.	Tipo de Agua: Tratada Origen: Producción

Parámetros	Resultados					Unidad	Límite Máximo Permisible NSO 13.49.01:09	Método de Referencia
	T3-1	T3-2	T3-3	T3-4	T3-5			
Microbiológicos								
Coliformes Totales	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	NMP/100ml	10,000	9223B. Enzyme Substrate test. APHA
Coliformes Fecales	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	NMP/100ml	2,000	9223B. Enzyme Substrate test. APHA
Físico-Químicos								
Temperatura	25					°C	20-35°C	2350B. Laboratory & Field M. APHA
pH	7					---	5.5-9.0	4500-HB. Electrometric M. APHA

Observaciones:
 Los resultados corresponden a la muestra de agua analizada.

Firma y sello de Analista/s: