

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, Centro América.

Amaya-Montoya, JE <sup>1\*</sup>, Arias- de Linares, AY <sup>2\*\*</sup>, Zepeda, KA <sup>3\*\*\*</sup>, Alas-Rivera, TM <sup>4\*\*\*\*</sup>

## Resumen

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 las 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. Se evaluaron tres concentraciones: 3%, 5% y 10% más un testigo 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 (DBO<sub>5</sub>), 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 DBO<sub>5</sub> 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 DBO<sub>5</sub> 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 DBO<sub>5</sub>; 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, DBO<sub>5</sub>, Oxígeno Disuelto, Sólidos Totales Disueltos, bio-remediadores, Fosfatos, Nitratos, especies microscópicas amigables.

1\* El Salvador. (503) 6023-8120. [amaya.montoya68edson@gmail.com](mailto:amaya.montoya68edson@gmail.com)

2\*\* Docente, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador. El Salvador. (503)7860-4900. [yani\\_linares@hotmail.com](mailto:yani_linares@hotmail.com)

3\*\*\* Especialista en Gestión Ambiental, Fondo de Inversión Social para el Desarrollo Local de El Salvador. El Salvador. (503)7851-8113. [kzepeda@fisdl.gob.sv](mailto:kzepeda@fisdl.gob.sv)

4\*\*\*\* Coordinadora de Gestión de Calidad. Ministerio de Salud de El Salvador. El Salvador. (503)7746-2476. [alas\\_t17@hotmail.com](mailto:alas_t17@hotmail.com)

## Abstract

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 (DBO<sub>5</sub>), 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 DBO<sub>5</sub> 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%. DBO<sub>5</sub> 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 DBO<sub>5</sub>; 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. DBO<sub>5</sub>, dissolved oxygen, dissolved total solids, bio-remediators, phosphates, nitrates, microscopic friendly species.

1\* El Salvador. (503) 6023-8120. [amaya.montoya68edson@gmail.com](mailto:amaya.montoya68edson@gmail.com)

2\*\* Docente, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador. El Salvador. (503)7860-4900. [yani\\_linares@hotmail.com](mailto:yani_linares@hotmail.com)

3\*\*\* Especialista en Gestión Ambiental, Fondo de Inversión Social para el Desarrollo Local de El Salvador. El Salvador. (503)7851-8113. [kzpeda@fisdl.gob.sv](mailto:kzpeda@fisdl.gob.sv)

4\*\*\*\* Coordinadora de Gestión de Calidad. Ministerio de Salud de El Salvador. El Salvador. (503)7746-2476. [alas\\_t17@hotmail.com](mailto:alas_t17@hotmail.com)

## 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 cuerpo receptor de agua y al 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 a la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA), 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.

## Metodología

La investigación se llevó a cabo en el municipio de San Luís Talpa, departamento de La Paz, el cual, tiene un área de 65,96 km<sup>2</sup>, 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.

1\* El Salvador. (503) 6023-8120. [amaya.montoya68edson@gmail.com](mailto:amaya.montoya68edson@gmail.com)

2\*\* Docente, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador. El Salvador. (503)7860-4900. [yani\\_linaires@hotmail.com](mailto:yani_linaires@hotmail.com)

3\*\*\* Especialista en Gestión Ambiental, Fondo de Inversión Social para el Desarrollo Local de El Salvador. El Salvador. (503)7851-8113. [kzepeda@fisdl.gob.sv](mailto:kzepeda@fisdl.gob.sv)

4\*\*\*\* Coordinadora de Gestión de Calidad. Ministerio de Salud de El Salvador. El Salvador. (503)7746-2476. [alas\\_t17@hotmail.com](mailto:alas_t17@hotmail.com)



Figura 1. Localización de la Planta de tratamiento de Aguas Residuales

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 y melaza, colocados en un barril o depósito con capacidad de 52 galones y se tapó para dar 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 microorganismos 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.

Se usaron sesenta recipientes de 1 litro de capacidad cada uno, veinte recipientes 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.

1\* El Salvador. (503) 6023-8120. [amaya.montoya68edson@gmail.com](mailto:amaya.montoya68edson@gmail.com)

2\*\* Docente, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador. El Salvador. (503)7860-4900. [yani\\_linares@hotmail.com](mailto:yani_linares@hotmail.com)

3\*\*\* Especialista en Gestión Ambiental, Fondo de Inversión Social para el Desarrollo Local de El Salvador. El Salvador. (503)7851-8113. [kzepeda@fisdl.gob.sv](mailto:kzepeda@fisdl.gob.sv)

4\*\*\*\* Coordinadora de Gestión de Calidad. Ministerio de Salud de El Salvador. El Salvador. (503)7746-2476. [alas\\_t17@hotmail.com](mailto:alas_t17@hotmail.com)

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.

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, Turbidez, Conductividad eléctrica y Oxígeno disuelto.

Al finalizar el tiempo de investigación, se analizaron 60 muestras en total.



Figura 2. Obtención de muestras en sedimentador primario.



Figura 3. Llenado de los contenedores con agua residual.

Se tomaron 60 muestras de agua residual 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 realizaron los análisis de los parámetros físico-químicos.

1\* El Salvador. (503) 6023-8120. [amaya.montoya68edson@gmail.com](mailto:amaya.montoya68edson@gmail.com)

2\*\* Docente, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador. El Salvador. (503)7860-4900. [yani\\_linares@hotmail.com](mailto:yani_linares@hotmail.com)

3\*\*\* Especialista en Gestión Ambiental, Fondo de Inversión Social para el Desarrollo Local de El Salvador. El Salvador. (503)7851-8113. [kzepeda@fisdl.gob.sv](mailto:kzepeda@fisdl.gob.sv)

4\*\*\*\* Coordinadora de Gestión de Calidad. Ministerio de Salud de El Salvador. El Salvador. (503)7746-2476. [alas\\_t17@hotmail.com](mailto:alas_t17@hotmail.com)

Todas estas muestras, se colocaron inmediatamente en una hielera para inducir la cadena de frío a una temperatura de +/- 4°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.

La toma de muestra de agua, para los parámetros microbiológicos de coliformes fecales y totales se utilizó frascos de polietileno 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 de +/- 4° C, y se transportaron al laboratorio del CID-ANDA, para sus respectivos análisis. La temperatura y pH fueron medidos en el campo en las jornadas de muestreo.

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

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), este parámetro se midió con una sonda multiparámetro HACH HQ 40D . Midiendo inicialmente el OD y se incubaron las muestras por cinco días a una temperatura de 20°C para su posterior lectura de OD

Nitratos y fosfatos se midieron con un Oxígeno Disuelto fotómetro modelo Spectroquam NOVA 60, reportando las concentraciones en mg/L.y utilizando los respectivos Kit para NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>

Temperatura se midió a través con un termómetro de mercurio reportando unidades en °C.

pH se midió con un pH-metro marca HANNA, midiendo los potenciales de hidrogeno de la muestra

Los coliformes totales y fecales se analizaron por el método de la técnica de tubos múltiples y se contabilizaron por el número más probable en función de 100 ml de la muestra (NMP/100 ml).

Sólidos totales disueltos , y conductividad eléctrica y Oxígeno disuelto se midió con una sonda multiparámetro HACH HQ 40D utilizando los respectivos electrodos para cada parámetro, reportando las lecturas en mg/L para Solidos totales disueltos y Oxígeno disuelto y la conductividad en µs/cm.

1\* El Salvador. (503) 6023-8120. [amaya.montoya68edson@gmail.com](mailto:amaya.montoya68edson@gmail.com)

2\*\* Docente, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador. El Salvador. (503)7860-4900. [yani\\_linares@hotmail.com](mailto:yani_linares@hotmail.com)

3\*\*\* Especialista en Gestión Ambiental, Fondo de Inversión Social para el Desarrollo Local de El Salvador. El Salvador. (503)7851-8113. [kzepeda@fisdl.gob.sv](mailto:kzepeda@fisdl.gob.sv)

4\*\*\*\* Coordinadora de Gestión de Calidad. Ministerio de Salud de El Salvador. El Salvador. (503)7746-2476. [alas\\_t17@hotmail.com](mailto:alas_t17@hotmail.com)

## Análisis de Resultados de laboratorio de parámetros físico-químicos y microbiológicos.

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 la Cuadro 1.

Cuadro 1. Datos obtenidos de los parámetros analizados expresados en promedio.

Rep	Trat	DBO5 mg/l	pH	STD mg/l	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> mg/l	TURB FAU	CEL μS/cm	OD mg/l	CT NMP	CF NMP
1	0	754.0	7.1	446.7	1.3	9.7	79.3	874.0	0.85	>10,000	> 2,450
2	0	696.0	7.1	439.0	2.0	9.5	85.3	844.3	1.12	>10,000	> 2,450
3	0	680.0	7.2	438.7	1.8	9.2	96.3	842.3	0.66	>10,000	> 2,450
4	0	690.0	7.1	436.3	1.9	9.4	82.0	840.3	0.93	>10,000	> 2,450
5	0	1025.0	7.1	437.7	2.0	9.4	87.3	844.3	1.00	>10,000	> 2,450
1	1	875.0	5.8	432.3	2.5	9.3	92.0	820.7	0.52	10.6	31.4
2	1	737.0	5.4	438.0	2.6	9.3	112.7	751.3	0.56	8.1	26.3
3	1	660.0	5.8	439.3	2.4	9.4	125.7	816.7	0.52	6.3	23.6
4	1	795.0	5.8	440.0	2.9	9.7	129.0	823.3	0.50	6.7	25.1
5	1	691.0	6.0	376.0	3.0	8.4	94.3	683.7	0.50	10.8	23.8
1	2	881.0	5.2	487.0	5.7	8.5	211.7	894.3	0.60	4.6	11.2
2	2	727.0	5.2	488.0	5.2	8.8	206.0	889.0	0.59	6.5	8.8
3	2	693.0	5.2	486.0	4.9	7.9	207.0	894.7	0.57	2.4	5.0
4	2	758.0	5.3	463.0	4.2	8.5	205.0	873.0	0.69	2.0	6.2
5	2	824.0	5.2	484.3	4.9	8.0	221.3	900.3	0.68	1.7	4.2
1	3	1017.0	4.7	597.0	4.4	2.3	100.7	1047.7	0.40	1.7	2.4
2	3	1010.0	4.7	595.3	4.5	2.5	103.0	1048.7	1.12	1.7	2.7
3	3	955.0	4.6	598.0	4.8	2.6	102.3	1046.7	0.85	1.3	2.7
4	3	1248.0	4.6	591.7	4.6	2.5	100.7	1048.7	0.52	2.4	2.7
5	3	1359.0	4.7	597.0	4.6	2.5	100.7	1042.0	0.66	1.3	1.3

Fuente: elaboración propia; Donde; Rep=Repetición; Trat= Tratamiento; DBO= Demanda Bioquímica de Oxígeno; ST=Sólidos Totales Disueltos; NO<sub>3</sub>=Nitratos; PO<sub>4</sub>=Fosfatos; TURB=Turbidez; CEL=Conductividad Eléctrica; OD=Oxígeno Disuelto; CT=Coliformes totales; CF=Coliformes fecales, NMT=Numero mas probable

El cuadro sintetiza los resultados obtenidos en las diferentes etapas de la investigación, los cuales están expresados en promedios con sus respectivas unidades de medidas.

1\* El Salvador. (503) 6023-8120. [amaya.montoya68edson@gmail.com](mailto:amaya.montoya68edson@gmail.com)

2\*\* Docente, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador. El Salvador. (503)7860-4900. [yani\\_linares@hotmail.com](mailto:yani_linares@hotmail.com)

3\*\*\* Especialista en Gestión Ambiental, Fondo de Inversión Social para el Desarrollo Local de El Salvador. El Salvador. (503)7851-8113. [kzepeda@fisdl.gob.sv](mailto:kzepeda@fisdl.gob.sv)

4\*\*\*\* Coordinadora de Gestión de Calidad. Ministerio de Salud de El Salvador. El Salvador. (503)7746-2476. [alas\\_t17@hotmail.com](mailto:alas_t17@hotmail.com)

## Resultados de laboratorio para coliformes fecales, coliformes totales, oxígeno disuelto y temperatura.

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 la figura 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).

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, lo que se contempla en el siguiente gráfico:

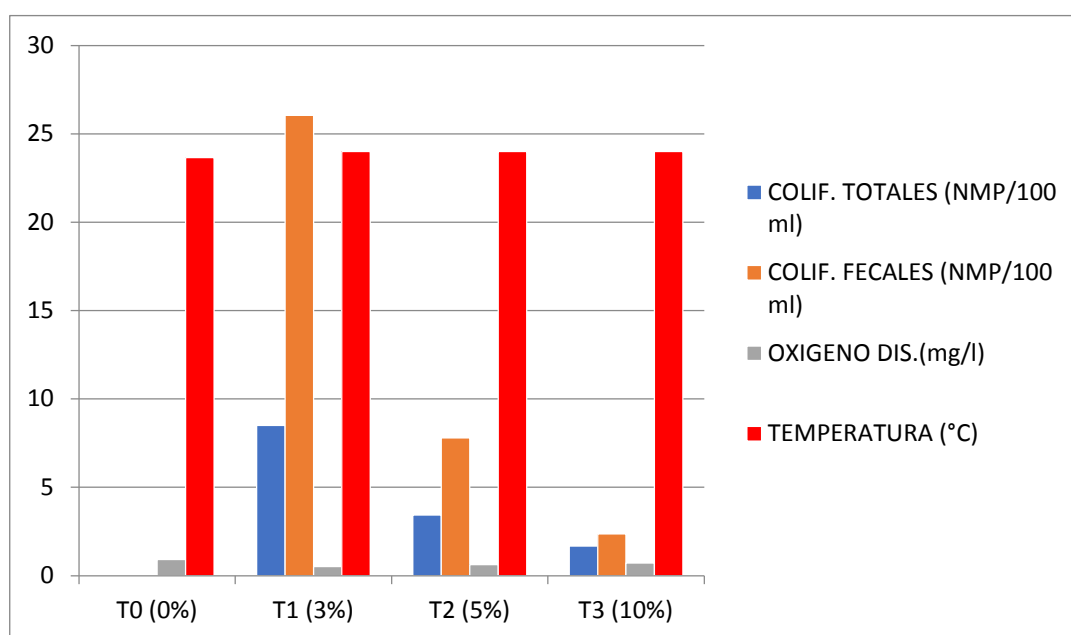


Figura 4. Comportamiento de Coliformes fecales, coliformes totales y oxígeno disuelto.

Donde: Oxígeno Dis.=Oxígeno Disuelto; Colif.Totales=Coliformes totales; Colif. Fecales=Coliformes fecales

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, lo cual, cabe mencionar que son aguas hipóxicas (menores a 2 mg/l), tal y como lo establecen Echarri Prim, L (1998) y Waterboards (2017).

1\* El Salvador. (503) 6023-8120. [amaya.montoya68edson@gmail.com](mailto:amaya.montoya68edson@gmail.com)

2\*\* Docente, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador. El Salvador. (503)7860-4900. [yani\\_linares@hotmail.com](mailto:yani_linares@hotmail.com)

3\*\*\* Especialista en Gestión Ambiental, Fondo de Inversión Social para el Desarrollo Local de El Salvador. El Salvador. (503)7851-8113. [kzepeda@fisdl.gob.sv](mailto:kzepeda@fisdl.gob.sv)

4\*\*\*\* Coordinadora de Gestión de Calidad. Ministerio de Salud de El Salvador. El Salvador. (503)7746-2476. [alas\\_t17@hotmail.com](mailto:alas_t17@hotmail.com)



Los datos en lo que a temperatura se refiere, presentan un rango normal según la Norma Salvadoreña Obligatoria para aguas residuales de tipo ordinario, lo cual, permitió la dinámica microbiana que disminuyó numéricamente tanto a coliformes fecales y coliformes totales.

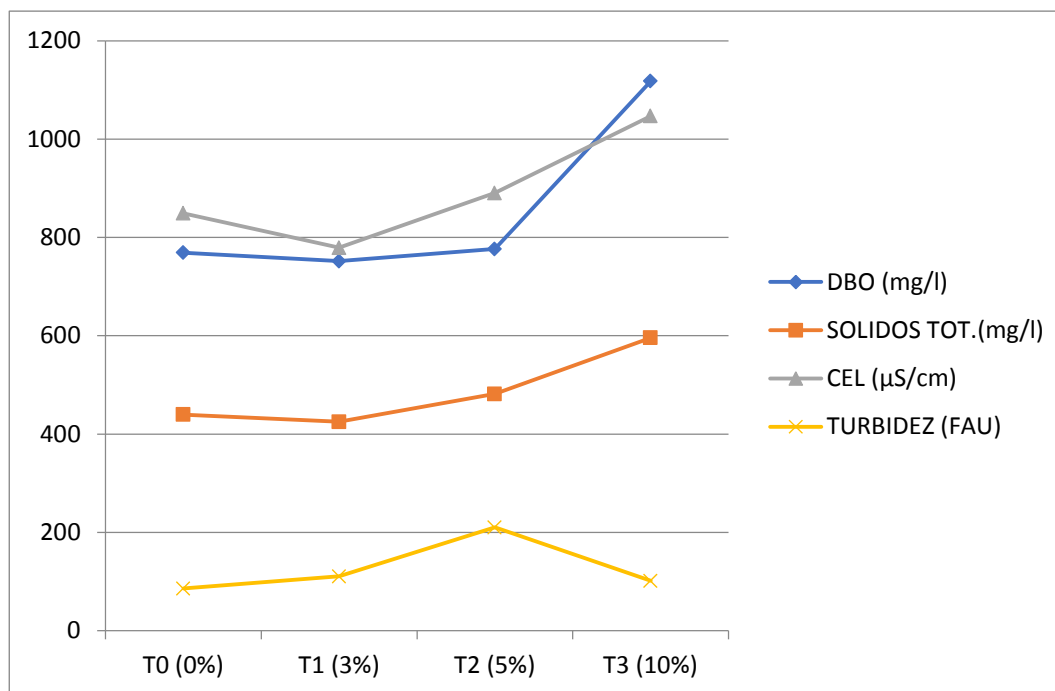


Figura 5. Comportamiento de sólidos totales disueltos, conductividad eléctrica, turbidez y demanda bioquímica de oxígeno.

Donde: DBO= Demanda Bioquímica de Oxígeno; ST=Sólidos Totales Disueltos; TURB=Turbidez; CEL=Conductividad Eléctrica

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 et al (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 (FUNDESYRAM, 2016).

1\* El Salvador. (503) 6023-8120. [amaya.montoya68edson@gmail.com](mailto:amaya.montoya68edson@gmail.com)

2\*\* Docente, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador. El Salvador. (503)7860-4900. [yani\\_linares@hotmail.com](mailto:yani_linares@hotmail.com)

3\*\*\* Especialista en Gestión Ambiental, Fondo de Inversión Social para el Desarrollo Local de El Salvador. El Salvador. (503)7851-8113. [kzepeda@fisdl.gob.sv](mailto:kzepeda@fisdl.gob.sv)

4\*\*\*\* Coordinadora de Gestión de Calidad. Ministerio de Salud de El Salvador. El Salvador. (503)7746-2476. [alas\\_t17@hotmail.com](mailto:alas_t17@hotmail.com)

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).

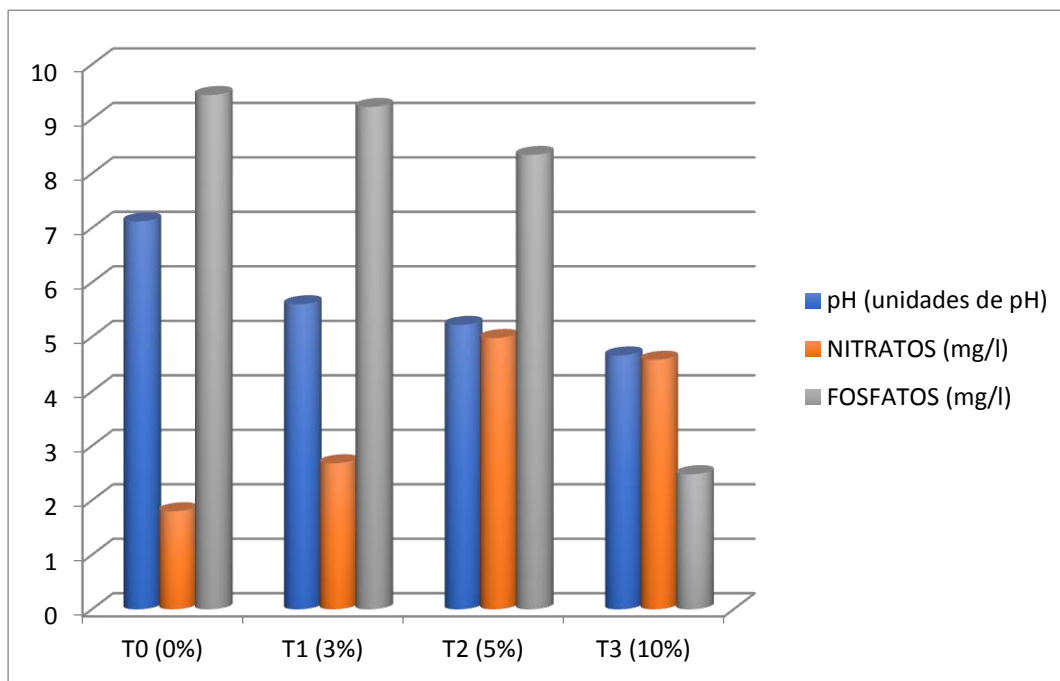


Figura 6. Comportamiento de pH, nitratos y fosfatos al aplicar los microorganismos bioremediadores.

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 (Apella, M. y Araujo, P.).

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, M. y Araujo, P.).

1\* El Salvador. (503) 6023-8120. [amaya.montoya68edson@gmail.com](mailto:amaya.montoya68edson@gmail.com)

2\*\* Docente, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador. El Salvador. (503)7860-4900. [yani\\_linares@hotmail.com](mailto:yani_linares@hotmail.com)

3\*\*\* Especialista en Gestión Ambiental, Fondo de Inversión Social para el Desarrollo Local de El Salvador. El Salvador. (503)7851-8113. [kzepeda@fisdl.gob.sv](mailto:kzepeda@fisdl.gob.sv)

4\*\*\*\* Coordinadora de Gestión de Calidad. Ministerio de Salud de El Salvador. El Salvador. (503)7746-2476. [alas\\_t17@hotmail.com](mailto:alas_t17@hotmail.com)

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 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.

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 (UNEX, 2006).

## **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 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de 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,

1\* El Salvador. (503) 6023-8120. [amaya.montoya68edson@gmail.com](mailto:amaya.montoya68edson@gmail.com)

2\*\* Docente, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador. El Salvador. (503)7860-4900. [yani\\_linares@hotmail.com](mailto:yani_linares@hotmail.com)

3\*\*\* Especialista en Gestión Ambiental, Fondo de Inversión Social para el Desarrollo Local de El Salvador. El Salvador. (503)7851-8113. [kzepeda@fisdl.gob.sv](mailto:kzepeda@fisdl.gob.sv)

4\*\*\*\* Coordinadora de Gestión de Calidad. Ministerio de Salud de El Salvador. El Salvador. (503)7746-2476. [alas\\_t17@hotmail.com](mailto:alas_t17@hotmail.com)

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 T-2 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 T-3 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%.

### **Agradecimientos.**

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

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

Al personal del Departamento de Química Agrícola de la UES (Licda. MSc. 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.

1\* El Salvador. (503) 6023-8120. [amaya.montoya68edson@gmail.com](mailto:amaya.montoya68edson@gmail.com)

2\*\* Docente, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador. El Salvador. (503)7860-4900. [yani\\_linares@hotmail.com](mailto:yani_linares@hotmail.com)

3\*\*\* Especialista en Gestión Ambiental, Fondo de Inversión Social para el Desarrollo Local de El Salvador. El Salvador. (503)7851-8113. [kzepeda@fisdl.gob.sv](mailto:kzepeda@fisdl.gob.sv)

4\*\*\*\* Coordinadora de Gestión de Calidad. Ministerio de Salud de El Salvador. El Salvador. (503)7746-2476. [alas\\_t17@hotmail.com](mailto:alas_t17@hotmail.com)

## **Bibliografía**

Apella, M, Araujo, P. Universidad Nacional de Tucumán. Argentina. 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](https://www.psa.es/es/projects/solarsafewater/documents/libro/02_Capitulo_02.pdf)

Badii, Castillo, Rodríguez, Wong & P, Villalpando. México. 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](http://www.web.facpya.uanl.mx/rev_in/Revistas/4.2/ A5.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>.

Echarri Prim L. 1998. España. 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>

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>

Universidad Cooperativa de Colombia. 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>

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>

1\* El Salvador. (503) 6023-8120. [amaya.montoya68edson@gmail.com](mailto:amaya.montoya68edson@gmail.com)

2\*\* Docente, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador. El Salvador. (503)7860-4900. [yani\\_linares@hotmail.com](mailto:yani_linares@hotmail.com)

3\*\*\* Especialista en Gestión Ambiental, Fondo de Inversión Social para el Desarrollo Local de El Salvador. El Salvador. (503)7851-8113. [kzepeda@fisdl.gob.sv](mailto:kzepeda@fisdl.gob.sv)

4\*\*\*\* Coordinadora de Gestión de Calidad. Ministerio de Salud de El Salvador. El Salvador. (503)7746-2476. [alas\\_t17@hotmail.com](mailto:alas_t17@hotmail.com)