

## **TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE AGUAS RESIDUALES COMO ALTERNATIVA PARA REDUCIR SU IMPACTO AMBIENTAL EN ECUADOR**

### **BIOLOGICAL TREATMENT OF RESIDUAL WATERS AS AN ALTERNATIVE TO REDUCE ITS ENVIRONMENTAL IMPACT IN ECUADOR**

**Amado Alberto Alcívar-Cuadros, Ítalo Pedro Bello-Moreira\*,  
Rubén Melquiades Alcívar-Murillo, Celio Danilo Bravo-Moreira,  
Víctor Hugo Alcívar-Cuadros, José Macías-Macías,  
Xavier Enrique Anchundia-Muentes, Juan Carlos Tipan-Alcivar,  
Hebert Edison Vera Delgado**

Facultad Ciencias Agropecuaria, Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí,  
Ciudadela Universitaria Vía San Mateo, Km 1.5, Manta, Ecuador.

\*Autor para correspondencia.

Correo-e: [italop.bello@uleam.edu.ec](mailto:italop.bello@uleam.edu.ec), [b.moreira112681@gmail.com](mailto:b.moreira112681@gmail.com)

---

### **RESUMEN**

La presente investigación, sobre el estudio del efluente de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí (ULEAM) en el laboratorio, con aguas residuales de la misma institución, con objetivo de evaluar el proceso de degradación de los contaminantes mediante un sistema aeróbico con reactores biológicos y lodos nativos, en dos etapas de proceso: una diluida al 50% y otra usándola al 100% de concentración. En cada etapa se usó un control o (sintético), inyectando aire mediante difusores durante 24 horas como tiempo de retención hidráulica, donde se

mantuvo entre 15 y 20 días para el crecimiento de los lodos activos o biomasa que permitirá la remoción de la materia orgánica en el agua residual. En el laboratorio se logró remover materia orgánica como DQO hasta 85.19% y DBO hasta 87.75%. También se logró reducir los Nitritos hasta el 98.60%, otros de los elementos importantes es el fósforo donde se obtuvo 64.10% de remoción como Ortofosfato. Para la verificación de los resultados y comportamiento de los efluentes ULEAM y sintético, se realizó un análisis de varianza con el objetivo de establecer diferencias significativas de los tratamientos. Usando esta herramienta

estadística se estableció que el lodo biológico se comportó de igual manera para las dos etapas, depurando los contaminantes que existen en el efluente ULEAM.

**Palabras clave:** *Aguas residuales, reactor biológico, sistema aerobico, lodos activos.*

## ABSTRACT

An experimental study of the effluent from the Lay University "Eloy Alfaro" de Manabí (ULEAM) in the laboratory with sewage from the same institution, in order to evaluate the degradation of pollutants by an aerobic system bioreactor was performed. Native sludge in two process steps: one diluted 50% and the other using it at 100 % of concentration, at each stage a control or (synthetic) was used, injecting air through diffusers for 24 hours like hydraulic retention time, where it stayed between 15 and 20 days for the growth of the activated sludge or biomass enabling the removal of organic matter in the wastewater. In the laboratory was achieved organic matter removal as COD in 85.19% and BOD in 87.75%. Was also able to reduce the nitrites to 98.60%, other important element is the phosphorus which 64.10% was obtained from removal as orthophosphate. For verification of results and behavior ULEAM and synthetic effluent, analysis of variance with the aim of establishing significant differences between treatments. This statistic tool that established that the biological sludge behaved similarly for the two stages, debugging was performed the contaminants.

**Keywords:** *Wastewater, biological reactor, aerobic system, active sludge.*

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación tuvo como punto principal estudiar el efluente, ya que los sistemas colectores de las aguas servidas, están propensos a colapsar por el incremento de los caudales

que no realizan un buen tratamiento, aumentando el riesgo a la salud y afectando al ambiente.

Los efectos negativos que causan las aguas residuales en cuerpos receptores en presencia de altas concentraciones de Nitrógeno y fósforo, traen como consecuencia eutrofización a ríos lagos y playas disminuyendo la concentración de oxígeno disuelto (Saldarriaga *et al.*, 2011).

El presente estudio plantea un tratamiento biológico con lodos activos aireados a nivel de laboratorio, para la remoción de la contaminación de estas aguas, como alternativa para la preservación y conservación del medio ambiente; se utilizaron las instalaciones del laboratorio en el Centro de Servicio para el Control de la Calidad de la ULEAM (CESECCA).

Según la Organización Panamericana de la Salud (OPS) ("Mid-evaluation of wáter supply and sanitation in latin América and the Caribbean", Abril 1997 con datos a 1995) los países de América Latina y el caribe poseen poblaciones estimadas de 468 millones de habitantes, los cuales 343 millones habitan en zonas urbanas y 125 millones en áreas rurales. Las coberturas de los servicios de agua en zonas urbanas alcanzan el 84% y en la zonas rurales solo el 41%, lo que da una cobertura total del 73% (en saneamiento las coberturas son: Total de 69%; urbano 80% y rural 40%) con base a lo anterior, más de 128 millones de habitantes no tienen acceso al agua de suministro. Se estima que menos de 10% de agua residual colectada por alcantarillado reciben tratamiento (Cepis, 2014).

Sin embargo las leyes en nuestro país que prohíben el vertido de efluentes, en gran parte no se cumplen y por otra parte, son procesados inadecuadamente generando bioacumulación de metales pesados. El incremento de nutrientes provoca disminución del oxígeno en el agua, modificando el hábitat de muchas especies (Geo Ecuador, 2014).

El servicio de alcantarillado sanitario es el medio masivo más efectivo para la eliminación de excretas y aguas servidas; en el país aún persiste un elevado déficit en la cobertura de este servicio, así la red de alcantarillado en la provincia de Manabí presenta deficiencias, siendo la cobertura apenas el 28.2% (Esimgeco, 2010).

Con el crecimiento de la población estudiantil y su infraestructura, en especialidades donde el incremento en el año 2013, fue de 16,800 estudiantes matriculados, con una cantidad de empleados de 1,890, incluido los docentes, dando una cantidad de total de 18,690 personas, que ingresan a la Universidad, generando grandes cantidades de residuos líquidos o aguas residuales, evacuando a los pozos anaerobios y estos pasándolos a las quebradas cercanas a la Universidad que desembocan en playas cercanas (ULEAM, 2014).

Para el tratamiento de agua en esta institución se trabaja básicamente con procedimientos de tratamiento anaerobio, que debido al incremento de estudiantes en los últimos años no está dentro de los límites de la norma, poniendo en riesgo la salud de las personas dentro y fuera de las instalaciones.

Los problemas que ocasiona este efluente son malos olores, acumulación de materia orgánica, generada por heces fecales, provocando sedimentación en la quebrada y causando una gran carga microbiana, generando un riesgo a la salud de las personas que viven alrededor de la universidad, estudiantes y empleados.

La generación de los malos olores en drenajes es el resultado de descomposición microbiológica de la materia orgánica contenida en el agua residual. Muchos de los compuestos responsables de los malos olores en este tipo de agua residual son gases inorgánicos que incluyen al sulfuro de hidrogeno ( $H_2S$ ) y el amoniaco ( $NH_3$ ), que

son característicos de los procesos anaerobios (Crites y Tchobanoglous, 2001).

¿El tratamiento biológico de aguas residuales de la ULEAM, logrará reducir la contaminación hasta los límites permisible de contaminación según la normativa?

## **Delimitación del problema**

### **De contenido:**

Campo: Ambiente

Área: Laboratorio de análisis

Aspecto: Aguas residuales

Tema: Tratamiento biológico de aguas residuales de la ULEAM como alternativa para reducir su impacto ambiental sobre las playas de la ciudad de Manta.

Problema: Aguas residuales no tratadas generan acumulación de materia orgánica en quebradas y posible proliferación de enfermedades a la comunidad estudiantil y playas de Manta.

### **De extensión:**

Delimitación espacial: Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí

### **De tiempo**

Delimitación Temporal; 2014 - 2015

Evaluar la efectividad en condiciones de laboratorio, del tratamiento biológico de aguas residuales de ULEAM como medida para reducir el impacto ambiental sobre las playas de la ciudad de Manta.

Caracterizar desde el punto de vista físico, químico y bacteriológico, aguas residuales producidas en la ULEAM.

Determinar el grado de biodegradación de la materia orgánica presente en los efluentes, aplicando lodos biológicos nativos en condiciones aeróbicas.

Analizar la calidad del efluente tratado con relación a las normas ambientales vigentes para su disposición sobre el perfil marino-costero.

## VARIABLES DE ESTUDIO

**Variable Independiente:** Tratamiento biológico aplicando lodos nativos biológicos en condiciones aerobias a las aguas residuales de la ULEAM.

**Variable Dependiente:** Niveles de contaminación de aguas residuales.

Cuadro 1. Clasificación de organismos degradadores de materia orgánica en aguas residuales.

Clasificación	Fuente de carbono	Fuente de energía	Organismo representativo
<b>Heterótrofos</b>			
Quimioorganótrofos	Carbono orgánico	Reacciones orgánicas de oxidación reducción	Bacterias, hongos, protozoos, animales
fotoheterótrofos	Carbono orgánico	Luz	Bacterias fotosintéticas
<b>Autotróficos</b>			
Quimiolitotróficos	CO <sub>2</sub>	Reacciones inorgánicas de oxidación y reducción	Bacterias
Fotoautótrofos	CO <sub>2</sub>	Luz	Bacterias fotosintéticas, algas y la mayoría de plantas

Fuente: Crites y Tchobanoglous, 2001.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación es de tipo evaluativa se realizó en el laboratorio CESECCA de la ULEAM, el cual cuenta con la infraestructura y equipamiento para el desarrollo de la investigación, donde se demostraron los resultados en la operación del proceso a escala de laboratorio, usando un análisis estadístico de varianza (ANOVA), para la comprobación de las diferencias significativas entre una y otra dilución, experimentando un sistema aireado con lodos nativos en la digestión de materia orgánica en aguas residuales de la ULEAM, en dos etapas de tratamiento (efluente al 50 y 100%) con una repetitividad y control.

## Tratamiento comparativo del estudio

Para este estudio se utilizó un efluente sintético (Cuadro 2) elaborado de acuerdo al usado por (Chacín, 1993) para tener un efluente con características químicas similares al efluente original de la ULEAM, para verificar el comportamiento de remoción biológica con los lodos activados aireados.

Después de haber preparado la formulación de Chacín (1993), se logró comprobar que este afluente tiene similares características que componen las aguas residuales (Cuadro 3), verificando estos datos se pudo definir el afluente, el cual se compara con el efluente de la Universidad en

el proceso de depuración de sus aguas negras.

### Componentes de los reactores biológicos aireados

Para el sistema aerobio aplicado en este experimento se utilizó una bomba de aire que se usa en las peceras con dos salidas de 5 w, en la que se acoplaron cuatro mangueras y piedras difusoras que inyectan 4 litros/min en cada reactor, de forma discontinua con un tiempo de retención hidráulica de 24 horas, realizando una mezcla total.

- Características de la bomba de aireación usada en el experimento.
- Potencia: 5 w.
- Caudal de aire: 2 x 4 litros x minuto.
- Dos salidas de aire.
- Energía: 110 – 120 v.
- Frecuencia: 60 Hz.

### Recolección y almacenamiento de lodos biológicos nativos

Los lodos usados para este experimento, fueron del propio efluente que se encontraba en la quebrada de la ULEAM, recolectando en la parte superficial donde se encuentran los microorganismos aerobios, lo que facilita una mayor cantidad de los mismos y a la vez, una rapidez en el crecimiento en los reactores.

### Activación de lodos nativos aireados en reactores

Para la activación de estos lodos se utilizó el efluente sintético con los difusores, inyectando aire al biorreactor y mezclando todo, para que los microorganismos realicen su proceso de digestión, y se adapten a las condiciones, requiriendo que su biomasa se desarrolle y así tener lodos activos que se puedan usar para los biorreactores en las dos etapas de tratamiento.

Por otro lado, del mismo modo que es importante que las bacterias descompongan el residuo orgánico tan pronto como sea posible, también lo es el que forme un flóculo adecuado, puesto que este punto constituye un requisito previo para la separación de los sólidos biológicos en la instalación de sedimentación. Se ha observado que cuando se aumenta el tiempo medio de retención celular mejoran las características de sedimentación del flóculo biológico. En el caso del agua residual doméstica, los tiempos medios de retención celular necesarios para conseguir una buena sedimentación oscilan entre 3 y 4 días.

Cuadro 2. Componentes para la preparación del efluente sintético para el experimento de tratamiento biológico de aguas residuales.

Compuesto	Cantidad
Glucosa	2.0 g/L
NH <sub>4</sub> Cl	1.5 g/L
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0.10 g/L
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	0.15 g/L
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.13 g/L
MgCl <sub>2</sub>	0.085 g/L
(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> MO <sub>7</sub> O <sub>24</sub>	40 ug/L
NiSO <sub>4</sub> .6H <sub>2</sub> O	500 ug/L
COCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	50 ug/L
FeCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	0.64 ug/L
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	100 ug/L
CaCl <sub>2</sub>	0.04 g/L
MnCl <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O	500 ug/L
ZnSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	500 ug/L
NaHCO <sub>3</sub>	1.0 g/L
CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O	5 ug/L

Fuente: Chacín, 1993.

Cuadro 3. Características iniciales del afluente sintético para el experimento de tratamiento biológico de aguas residuales.

Ensayos	Unidades	Resultados al 50%	Resultados al 100%	Límites de descarga al sistema de alcantarillado
pH		6.41	6.44	5 -9
DQO	mg/l	254.50	543.80	250
DBO <sub>5</sub>	mg/l	221.50	431.30	100
Sólidos totales disueltos	mg/l	1418.25	1422.50	-
Nitritos	mg/l	0.01	0.10	
Fosfatos	mg/l	14.67	13.5	-

Resultados de la formulación de Chacín (1993) (Alcívar Amado, Rubén Alcívar, Macías José y Hebert Vera).

Aunque se obtengan una excelente formación de flósculos, el efluente del sistema podría contener un alto contenido de sólidos biológicos, como consecuencia de un mal diseño de la unidad de sedimentación secundaria, mal funcionamiento de los dispositivos de aireación, o por la presencia de organismos filamentosos como el *Sphaerotilus*, las *E. coli* u hongos (Díaz, 2002). Para la obtención de la biomasa se trabajó con los birreactores durante 2 semanas cambiando el efluente diariamente hasta tener el suficiente para comenzar a realizar el tratamiento con el agua residual.

### Efluente de la ULEAM

El efluente generado por la ULEAM se considera como un efluente de aguas residuales doméstico, de origen sanitario y uso de limpieza, se descargan a el alcantarillado interno de la universidad y se depositan en pozos ciegos anaerobios para luego ser vertidos a una quebrada, sin completar su depuración, la colecta se realizó en envases plásticos y se almacenó en refrigeración de 8 °C a 4 °C hasta realizar el tratamiento en los reactores biológicos.

### Operación de los reactores

Este trabajo de experimentación se realizó en dos etapas, en la primera con

dilución al 50% del efluente ULEAM con agua destilada y la segunda etapa al 100%, los dos procesos culminaron hasta que se estabilizó el tratamiento en la remoción de la materia orgánica (medida como DQO).

Se utilizaron cuatro reactores, dos tratamientos y dos controles con una réplica y cada uno con su respectivo control (Cuadro 4). La toma de muestra del efluente tratado, se realizó cuando se cumplió con el tiempo establecido de 24 horas (tiempo de retención hidráulico), con los lodos biológicos, luego se apagaron los aireadores dejando en reposo hasta que el lodo se asentó (15 minutos), luego de eso se usó una manguera y un succionador para la extracción de todo el líquido superior.

Cuadro 4. Condiciones operacionales para el tratamiento de aguas residuales de la ULEAM en reactores por carga, usando lodos biológicos nativos y en condiciones aeróbicas.

Etapa	Reactor Tratamiento	Reactor Control
	Proporción de efluente (%)	Glucosa (mg/L)
I	50	500
II	100	1000

Elaborado por: Ing. Amado Alcívar

### Montaje de reactores con lodos biológicos aireados

Para el funcionamiento de los reactores en el laboratorio, se utilizaron matraces Erlenmeyer de 1000 ml, con una relación 80/20, el 80% agua residual y el 20% lodo biológico nativo (Figura 1). Se procedió a aerar mediante, piedras difusoras que mezclan el lodo con el agua residual formando un medio adecuado que les proporcione oxígeno y alimento a microorganismos aerobios, formando biomasa de lodo biológico activo.

### Muestras después del tratamiento con lodos biológicos activados

Después de las 24 horas como tiempo de retención hidráulico con aireación, se procedió a apagar los equipos de aireación y retirar las mangueras con los difusores para dejar en reposo durante 15 minutos, para propiciar la precipitación de los floculos.



Figura 1. Modelo de reactor de laboratorio con 80% de agua residual y 20% de lodo activo nativo para el experimento de tratamiento biológico de aguas residuales.

A los datos registrados de las variables se les aplicó un análisis estadístico de varianza (ANOVA), para establecer diferencias significativas. Las variables medidas fueron: Demanda Biológica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno (DQO), Nitrógeno Total, Nitrito (N-NO<sub>2</sub>), Fósforo (Ortofosfato), pH, Conductividad, Heterótrofas, Coliformes totales y Coliformes Fecales (Cuadro 5).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Característica del efluente inicial generado por la ULEAM

En el Cuadro 6 se indica los análisis físicos químicos y microbiológicos del efluente ULEAM caracterizando de esa manera el efluente a estudiar comparándolos con la normativa del libro VI de la TULSMA (2008) de acuerdo a los límites permisibles para su descarga.

Comparando los resultados del Cuadro 16, con la Legislación Ecuatoriana tenemos que los parámetros como DQO, DBO<sub>5</sub>, sólidos totales, sólidos suspendidos, nitrógeno y parámetros microbiológicos, están fuera de los límites de la normativa tanto en aguas vertidas al sistema de alcantarillado como a fuentes marinas, de acuerdo a estos antecedentes es necesario aplicar tecnología con lodos nativos para así reducir los impactos ambientales dentro y fuera de la ULEAM.

### Resultados del tratamiento biológico de los efluentes en condiciones aeróbicas

#### Demanda química de oxígeno

Durante el tratamiento biológico en las dos fases se lograron remociones, en DQO de acuerdo al Cuadro 5 en la fase I el 81.50% y en la fase II, el 85.19% (Cuadro 7). Con valores iniciales de DQO de 450 mg/l a 60 mg/l considerando que la etapa I es de menor carga orgánica, el lodo se adaptó de

una mejor forma degradando la materia orgánica desde el quinto día de tratamiento. Mientras que en la segunda etapa se comportó de una forma proporcional de la concentración logrando una estabilización después de los diez días de tratamiento con los lodos biológicos, mostrando ser un tratamiento capaz de adaptarse a las fluctuaciones de materia orgánica en agua residual (Figura 2).

### Demanda biológica de oxígeno

El comportamiento que se tuvo en la degradación de materia orgánica, como DBO<sub>5</sub> fue proporcional a la concentración del agua residual evidenciando (Figura 3) su proceso de remoción, pasando los cinco y diez días hasta estabilizarse, mejorando su eficiencia en remoción de 85.9% a 87.75% (Cuadro 7), y se puede observar en la Figura 3, también que pasando las 10 días hay picos que superan el 90% de remoción demostrando su capacidad depuradora.

Cuadro 5. Descripción de los métodos de análisis para el experimento de tratamiento biológico de aguas residuales

Parámetro	Etapas	Método
Demanda Biológica de Oxígeno	Alimentación Final de etapa Aerobia	5200B Método DBO 5 días 20 °C
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Alimentación Final de etapa Aerobia	5220D Reflujo cerrado
Nitrógeno Total	Alimentación Final de etapa Aerobia	4500-N Método Kjeldahl
Nitrito (N-NO <sub>2</sub> )	Final de etapa Aerobia	4500 – NO <sub>2</sub> Método Colorimétrico
Fósforo (Ortofosfato)	Final de etapa Aerobia	4500-P Colorimétrico
pH	Alimentación Final de etapa Aerobia	Método Electroquímico
Conductividad	Alimentación Final de etapa Aerobia	Método Electroquímico
Heterótrofas	Alimentación Final de etapa Aerobia	Método de contaje estándar en placas
Coliformes totales	Alimentación Final de etapa Aerobia	Standard methods (1995) 9221 A
Coliformes Fecales	Alimentación Final de etapa Aerobia	Standard methods (1995) 9221 A



Cuadro 6. Características iniciales del efluente ULEAM comparándolos con la normativa del libro VI de la TULSMA (2008) de acuerdo a los límites permisibles para su descarga.

Ensayos	Unidades	Resultados	Límites de descarga al sistema de alcantarillado	Límites de descarga a un cuerpo de agua marina
pH		8.10	5 -9	6-9
Temperatura	°C	26.25	< 35	< 35
DQO	mg/l	389.21	250	250
DBO <sub>5</sub>	mg/l	284.92	100	100
Sólidos totales	mg/l	7456.58	1600	-
Sólidos totales disueltos	mg/l	6818.99	-	-
Sólidos suspendidos totales	mg/l	177.58	100	100
Fosfatos	mg/l	7.97	-	-
Conductividad	ms/cm	7.35	-	-
Nitrógeno kjedahl	mg/l	86.31	40	40
Alcalinidad	mg/l	614.7	-	-
Cloruro	mg/l	1578	1000	-
Coliforme totales	NMP/100ml	$1.4 \times 10^8$	Remoción > al 99.9%	Remoción > al 99.9%
Coliforme fecales	NMP/100ml	$4.6 \times 10^6$	Remoción > al 99.9%	Remoción > al 99.9%
Bacterias heterótrofas	UFC/ML	$15 \times 10^5$	-	-

Elaborado: Ing. Amado Alcívar. Fuente: Resultados del experimento.

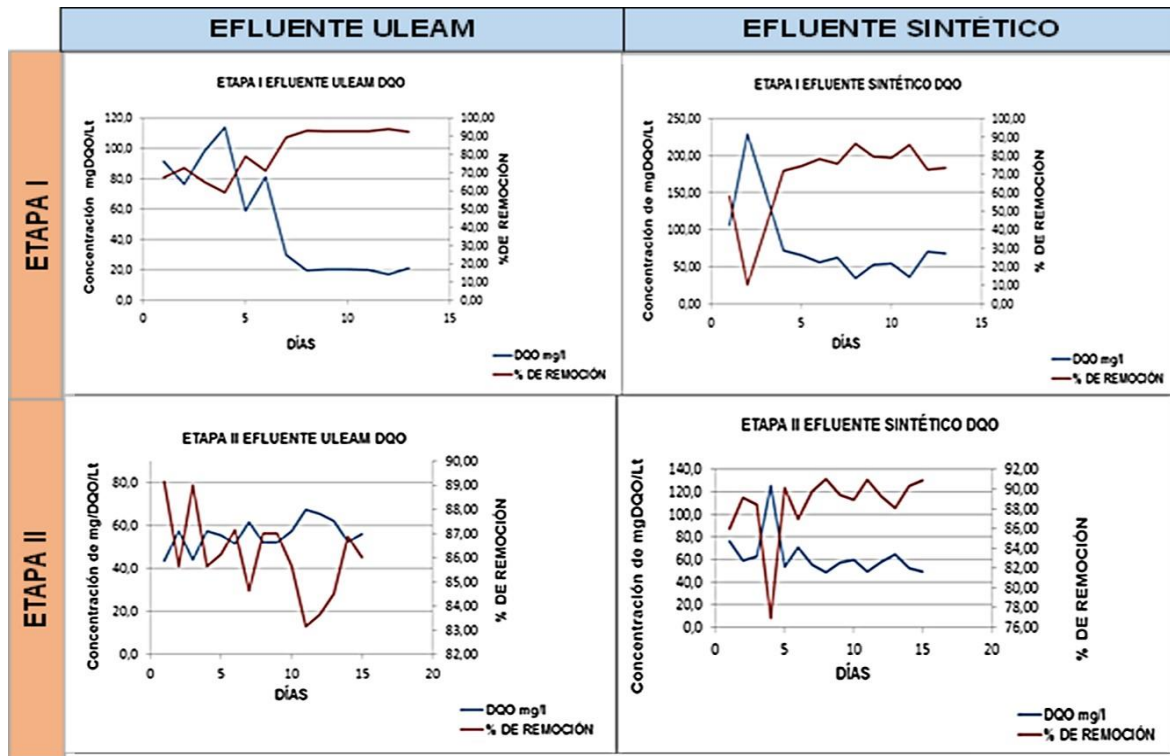


Figura 2. Remoción de (DQO) de la primera y segunda etapa del tratamiento con los reactores biológicos en el experimento de tratamiento biológico de aguas residuales.

Cuadro 7. Registro de valores DQO y DBO en fase de tratamiento con lodos aireados en el experimento de tratamiento biológico de aguas residuales.

Ensayo	Fase I		Fase II	
	Entrada	Salida	Entrada	Salida
DBO <sub>5</sub> Maximo	215	60	380	45
DBO <sub>5</sub> Minio	209	10	112	20
DBO <sub>5</sub> Promedio	211	28,9	291,36	35,7
Desviación estandar	4,24	20,3	79,71	6,6
% de remoción DBO <sub>5</sub>	85,90		87,75	

Ensayo	Fase I		Fase II	
	Entrada	Salida	Entrada	Salida
DQO Maximo	289	113	471	76
DQO Minio	274	17	380	44
DQO Promedio	279,25	51,4	400,47	59,3
Desviación estandar	6,85	36,2	79,42	9,4
% de remoción DQO	81,59		85,19	

Elaborado por: Ing. Amado Alcívar. Fuente: Resultados del experimento

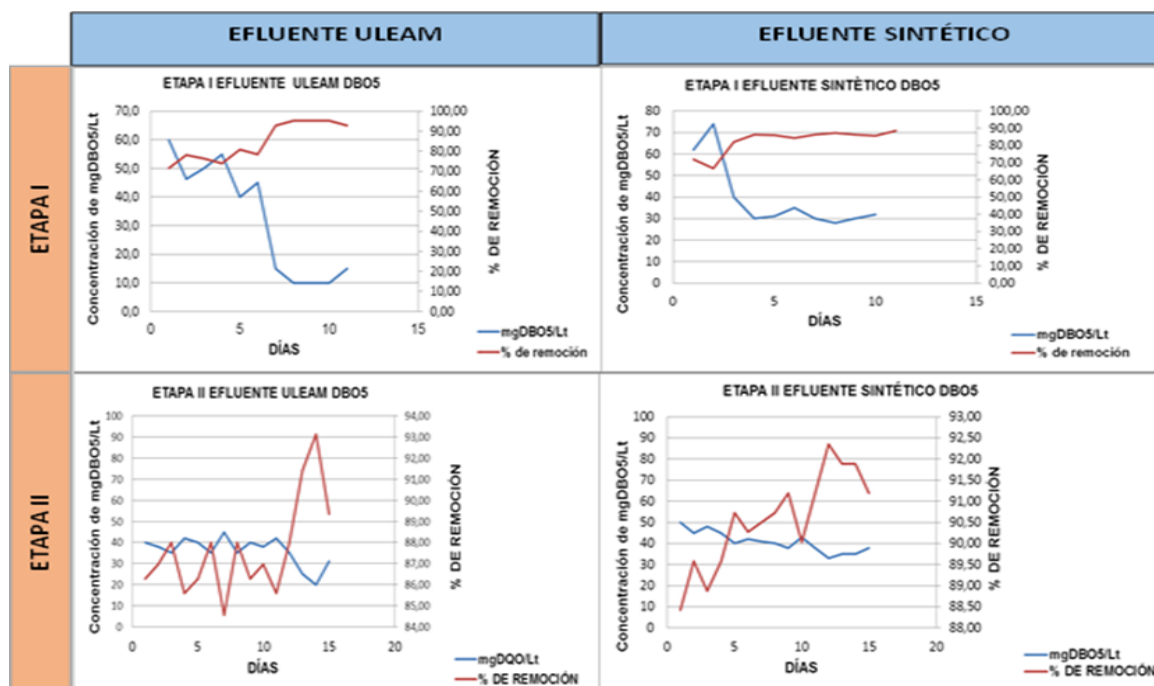


Figura 3. Remoción de demanda biológica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) de la primera y segunda etapa del efluente ULEAM y el efluente sintético en el experimento de tratamiento biológico de aguas residuales.

### Nitrógeno

De acuerdo a la Figura 4, se pudo apreciar que el nitrógeno sufrió su transformación por efectos de la oxidación biológica (Cuadro 8) de las características iniciales del efluente ULEAM el cual, presenta un valor de 86.31 mg/l de nitrógeno total, también verificando al inicio del tratamiento la concentración de nitrito del efluente ULEAM con una cantidad de 0.1 mg NO<sub>2</sub>/l antes del proceso. Durante el tratamiento tubo un máximo de transformación de 25 mg NO<sub>2</sub>/l subiendo su concentración de nitrito, por efecto de la oxidación biológica, luego del día 7 se produjo una reducción del 0.2 mg/l evidenciado su remoción y la efectividad de los lodos activos tanto en el efluente ULEAM como en el sintético, como se muestra en el

Cuadro 8 de resultados durante el tratamiento.

La nitrificación está basado en dos procesos acoplados: primero, el NH<sub>4</sub><sup>+</sup> es oxidado a hidroxilamina (NH<sub>2</sub>OH) y NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, mediante el proceso de nitrificación por bacterias oxidadoras de amonio (Ej. Nitrosomonas y nitrosolobus). Luego, el NO<sub>2</sub><sup>-</sup> es oxidado a NO<sub>3</sub><sup>-</sup> por bacterias oxidadoras de nitrato (Ej. Nitrobacter y Nitrosococcus), mediante una reacción conocida como nitratación (Cervantes-Carrillo *et al.*, 2000).

### Sólidos totales disueltos y conductividad

Los valores de la Figura 5, verifican el comportamiento de los sólidos totales disueltos y la conductividad, en esta última depende mucho a la cantidad de sólidos disueltos en el agua residual, en los sólidos

totales disueltos se logró tener una remoción del 50% entre valores promedios de 6800 a 3700 mg/l, mientras que en la conductividad no se obtuvo una diferencia significativa en la reducción de la misma dando a entender que se mantuvieron, mientras no cambió la cantidad de sólidos. La normativa no contempla los valores máximos permisibles para descarga a un ambiente natural.

**Ortofosfato**

La concentración de Ortofosfato (Figura 6), en el efluente ULEAM se comportó muy variante en la primera etapa, no logró remover lo suficiente ya que los microorganismos no metabolizaban el sustrato, mientras que en la segunda etapa, después de aproximadamente 20 días de empezar el tratamiento, se evidenció en la Figura 6 una reducción en la concentración del Ortofosfato logrando remover desde el quinto día de la segunda etapa, el 70% en el

efluente ULEAM y de la misma forma en el sintético (Cuadro 9).

Según Van Haandel y Marais (1999) la utilización del fosfato es hecha a través de la quiebra de las ligaciones de ATP para luego darse la absorción del sustrato (principalmente ácidos grasos Volátiles), como resultado de la concentración de fósforo soluble en medio líquido, aumentó al finalizar la etapa anaerobia, siendo el sustrato adsorbido, almacenado en el interior de la célula bacteriana hasta que fue utilizado en la próxima etapa aerobia, donde las bacterias oxidaron la materia orgánica almacenada bajo la forma de poli-hidroxi-butirato (PHB), en paralelo, las mismas bacterias reconstruyen el ATP removiendo entonces el fósforo soluble del agua residual, siendo el factor más importante durante la etapa aerobia, que las bacterias logren almacenar el 44% de fosfato durante la fase II (Cardenas et al.,2012).

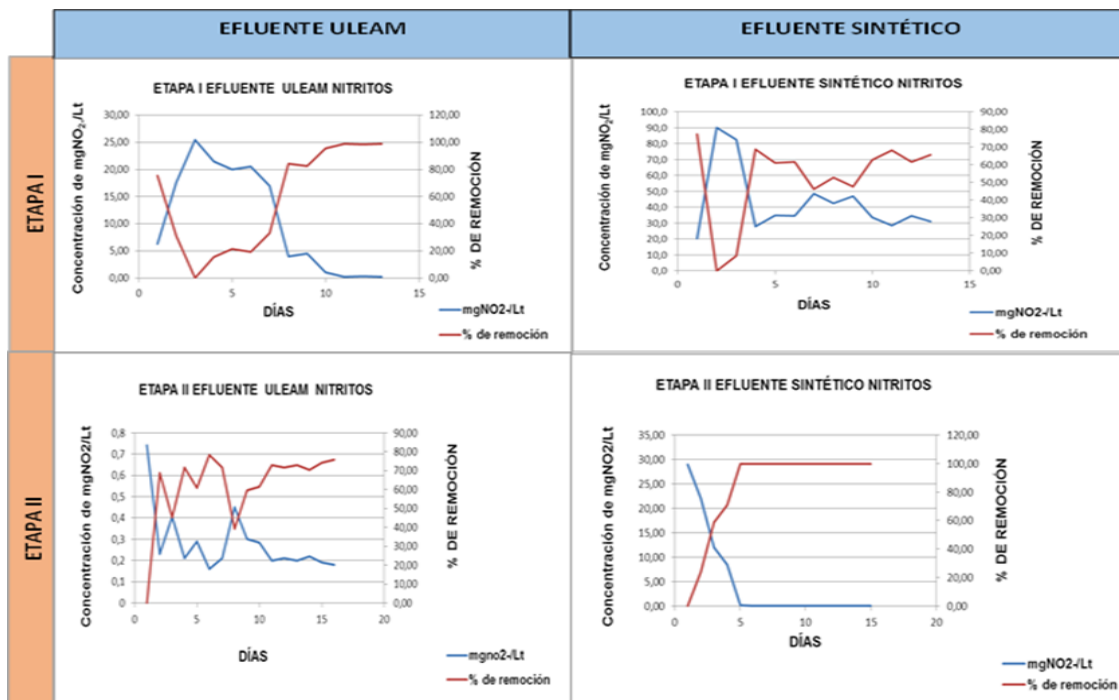


Figura 4. Comportamiento de los nitritos (NO<sub>2</sub>) durante la primera y segunda etapa en el experimento de tratamiento biológico de aguas residuales..

Cuadro 8. Resultados obtenidos en el experimento en remoción del nitrito en el experimento de tratamiento biológico de aguas residuales.

Ensayo	Fase I		Fase II	
	Entrada	Salida	Entrada	Salida
Nitritos NO <sub>2</sub> Maximo	25	4,5	25	0,2
Nitritos NO <sub>2</sub> Minio	6,3	0,26	0,74	0,16
Promedio	15,65	2,38	12,87	0,18
Desviación estandar	13,22	3,00	17,15	0,03
% de remoción Nitritos	<b>84,79</b>		<b>98,60</b>	

Elaborado por: Ing. Amado Alcívar. Fuente: Datos resultado del experimento

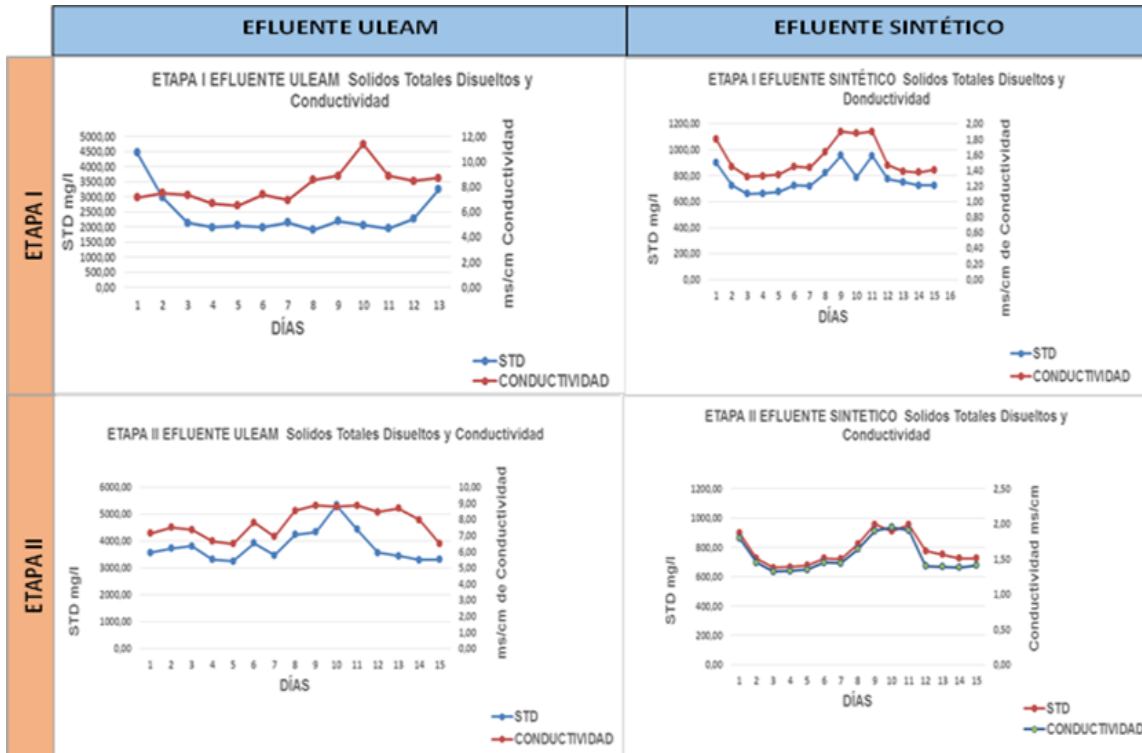


Figura 5. Comportamiento de los sólidos totales disueltos (STD) versus la conductividad en el experimento de tratamiento biológico de aguas residuales.

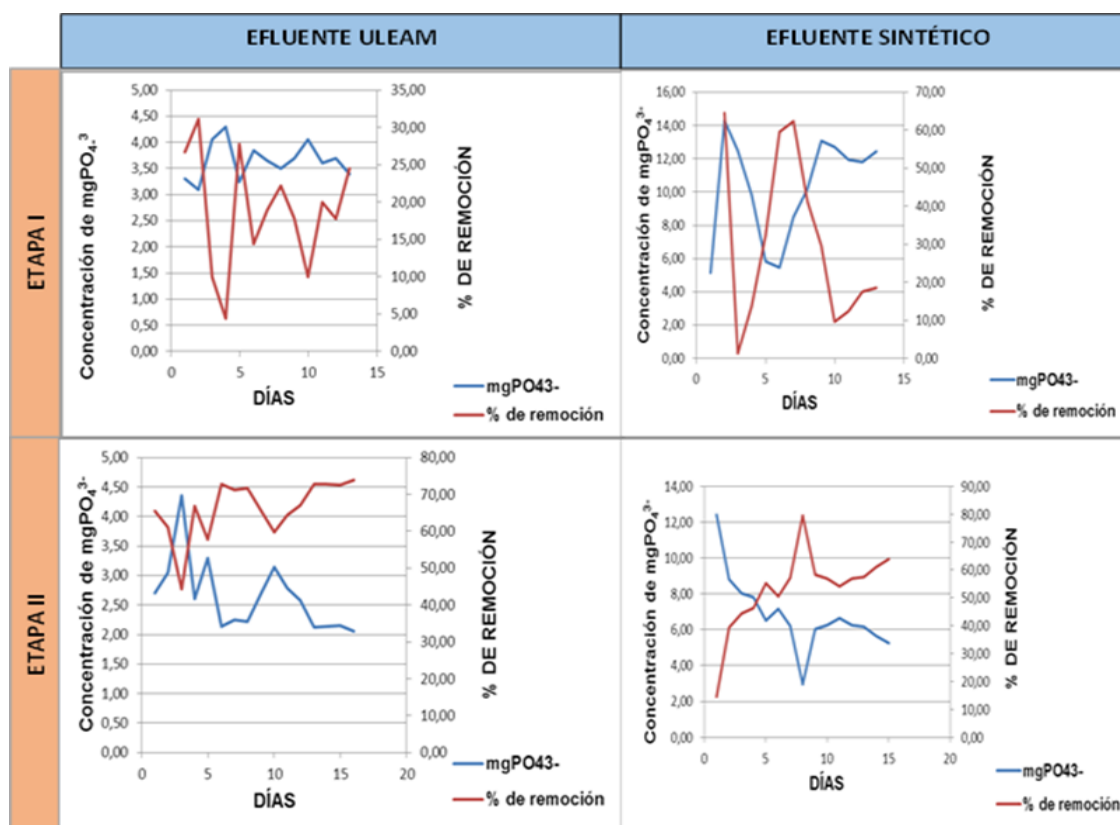


Figura 6. Comportamiento de fosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) en la primera y segunda etapa de tratamiento en el experimento de tratamiento biológico de aguas residuales.

Cuadro 9. Resultados obtenidos en el experimento en remoción de fosfatos

Ensayo	Fase I		Fase II	
	Entrada	Salida	Entrada	Salida
ortofosfato Maximo	4,5	4,05	7,8	3,55
Ortofosfato Minio	4,5	3,1	7,8	2,05
Promedio	4,5	3,575	7,8	2,8
Desviación estandar	0,00	0,67	0,00	1,06
% de remoción Ortofosfato	<b>20,56</b>		<b>64,10</b>	

Elaborado por: Ing. Amado Alcívar. Fuente: Datos Resultado del Experimento

## Bacterias Coliformes totales y fecales

Con respecto a los Coliformes fecales hubo una disminución de sus valores pero no se cumplió con la normativa (libro VI del TULSMA, 2008) ya que el tratamiento realizado solo oxidó la materia orgánica y no se realizó desinfección, evidenciando que los microorganismos fecales y totales permanecen después del tratamiento.

La supervivencia de bacterias Coliformes en agua, está regulada por factores ambientales como pH, temperatura y disponibilidad de nutrientes, entre otras (Hong *et al.*, 2010; Santiago-Rodríguez *et al.*, 2010).

## Análisis de la varianza ANOVA.

Este estudio permitió determinar el comportamiento de los lodos activos frente a las diferentes concentraciones de agua contaminada, de acuerdo a los datos obtenidos en el laboratorio donde se usaron los valores de la DQO de las dos concentraciones, una al 50% y la otra al 100%, comparándolo con un sintético. El modelo utilizado se muestra en los Cuadros 10 y 11.

Se analizó la efectividad en cada etapa usando el ANOVA de un factor y para determinar la variabilidad o no de la variable respuesta de los factores.

Se demostró a través del análisis de varianza, que no existe diferencia significativa entre los tratamientos (Cuadros 12 y 13), logrando entender que la efectividad de los lodos aireados funciona de la misma manera en cada una de las etapas hasta estabilizar los parámetros y colocándolos por debajo de la normativa Ecuatoriana TULSMA, para descargas de aguas tratadas, al alcantarillado.

## CONCLUSIONES

Al realizar análisis físicos, químicos y microbiológicos en el laboratorio, del estado de las aguas residuales de la Universidad se verificaron las características iniciales del efluente y se comprobó que esta fuera de los límites permisibles de la norma Ecuatoriana, tanto físicos, químicos y microbiológicos, provocando un impacto al ambiente notándose que el efluente no tiene un buen tratamiento.

En el experimento de laboratorio, se aplicó un tratamiento al efluente de la ULEAM donde se empleó un sistema aerobio con lodos activados nativos, en el cual se usaron dos etapas de cargas, una al 50% y la otra sin dilución (cruda), esto fue con el objetivo de verificar la adaptación de los lodos activos para comprobar su efectividad en la remoción de materia orgánica en aguas domésticas.

En el laboratorio se logró remover materia orgánica como DQO hasta 85.19% y DBO hasta 87.75%, también se logró reducir los Nitritos hasta el 98.60%. Otros de los elementos importantes es el fósforo donde se obtuvo 64.10% de remoción como Ortofosfato. Usando un tiempo de retención de 24 horas en cada etapa durante 15 a 20 días y comparando la efectividad con un sintético con características similares al del agua residual doméstica.

Se demostró a través del análisis de varianza, que no existe diferencia significativa entre los tratamientos, logrando entender que la efectividad de los lodos aireados funciona de la misma manera en cada una de las etapas hasta estabilizar los parámetros y colocándolos por debajo de la normativa Ecuatoriana TULSMA, para descargas de agua tratada al alcantarillado.

Cuadro 10. Esquema de la anova en el experimento de tratamiento biológico de aguas residuales.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F
Tratamiento	SST	K - 1	$SST/(K - 1) = MST$	MST/MSE
Error	SSE	n - K	$SSE(n - k) = MSE$	
Total	SST	n - 1		

Donde:

SST = Suma de cuadrados de tratamiento.

SSE = Suma de cuadrado de error.

K = Número de tratamiento.

n = Número de observaciones.

MST = Media cuadrática de tratamiento.

MSE = Media cuadrática de error.

Fuente: (Gutiérrez y de la Vara, 2008)

Cuadro 11. Esquema de formulación de los tratamientos en el experimento de tratamiento biológico de aguas residuales.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F
Tratamiento	$SST = \sum \left( \frac{T^2}{nc} \right) - \frac{(\sum x)^2}{n}$	K - 1	$SST/(K - 1) = MST$	MST/MSE
Error	$SSE = ss \text{ total} - sst$	n - K	$SSE(n - k) = MSE$	
Total	$SST = \sum (x)^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}$	n - 1		

Fuente: (Gutiérrez y de la Vara, 2008).

Cuadro 12. Cálculos de la varianza concentración al 50% en el experimento de tratamiento biológico de aguas residuales.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Media de los Cuadrados	Relación F
SCTR	6827.65	1	6827.65265	2.55060801
SCE	64244.94	24	2676.87258	
TOTAL	71072.59	25		

Planteamiento de Hipótesis:  $H_0: \mu_1 = \mu_2$ ;  $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$

Definición:

Si  $FC > FT$ , se rechaza  $H_0$ .

Ftabla 0.05 (1.24) = 4.26;  $F_c = 2.55$

Como  $F_c < F_t$ , entonces no se rechaza  $H_0$ .

Conclusión: Se acepta la hipótesis nula, es decir que las medias son iguales, indicando que no existe diferencia significativa, por lo tanto el tratamiento actúa de la misma forma en ambas muestras.



Cuadro 13. Cálculos de la varianza concentración al 100% en el experimento de tratamiento biológico de aguas residuales.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Media de los Cuadrados	Relación F
SCTR	168.03	1	168.033333	0.84546086
SCE	5564.93	28	198.747619	
TOTAL	5732.97	29		

Planteamiento de Hipótesis:  $H_0: \mu_1 = \mu_2$ ;  $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$

Definición:

Si  $F_C > F_T$ , se rechaza  $H_0$ .

$F_{\text{tabla } 0.05 (1.24)} = 4.19$ ;  $F_c = 0.84$

Como  $F_c < F_t$ , entonces no se rechaza  $H_0$ .

Conclusión: Se acepta la hipótesis nula, es decir que las medias son iguales, indicando que no existe diferencia significativa, por lo tanto el tratamiento actúa de la misma forma en ambas muestras.

## LITERATURA CITADA

- Díaz B., B. 2002. Estado del arte sobre el tratamiento biológico para los residuales de Punta Periquilla I. Digestión aerobia. Ingeniería Hidráulica y ambiental, 23(1).
- Cárdenas, C., C. Suher, A. Benítez. 2012. Desempeño de un reactor biológico secuencial (RBS) en el tratamiento de aguas residuales domésticas. Rev. Colomb. Biotecnol, 14(2): 111-120. <http://web.a.ebscohost.com/ehost/serarch/selectdb?sid=c8bcffaf-339a-4797-8d0c-57d44468b567%40sessionmgr4005&vid=1&hid=4109>.
- Chacín, E. 1993. Treatment characteristics of two phase anaerobic system using an UASB reactor (Tesis doctoral inédita). University of Birmingham, Birmingham Inglaterra.
- CEPIS (Centro de Panamericano de ingeniería Sanitaria y Ciencia del Ambiente). 2017. CEPIS-OPS. <http://www.cepis.org.pe/bvsaar/elproyecto/proyecto.htm/dspace.puc.esi.edu.ec/bitstream/11010/267/1/171586.pdf>
- Cervantes-Carrillo, F.; Pérez, J. y Gómez. 2000. Avances en la eliminación biológica del nitrógeno de las aguas residuales. Revista latinoamericana de microbiología 42: 73-82.
- Crites y Tchobanoglous. 2001. Constituyentes de las aguas residuales (Ed) Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones (pp. 22-105) Mc Graw-Hill Interamericana.
- Esingeco. 2010. Estudio de impacto ambiental definitivo de la subestación Montecristi y línea de derivación. [http://www.transelectric.com.ec/transelectric\\_portal/files/9.an\\_se%20montecristi%20%20ld.pdf](http://www.transelectric.com.ec/transelectric_portal/files/9.an_se%20montecristi%20%20ld.pdf)
- Geo Ecuador. 2014. Zonas Marítimas y costeras. Consultado. 05 de Febrero 2014. <http://www.geojuvenilecuador.org/69-82%20tema%205.pd>.

Hong. H., J. Qiu y Y. Liang. 2010. Environmental factors influencing the distribution of total and fecal coliform bacteria in six water storage reservoirs in the Pearl River Delta Region, China. *Journal of Environmental Sciences* 22(5): 663-668.

Gutiérrez, H. y R. de la Vara S. 2008. Análisis y Diseño de experimentos. Edición en español por McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A. de C.V.

TULSMA. 2008. Norma de calidad ambiental y de descarga de efluente: Recurso agua. Libro VI del texto unificado de legislación ambiental secundario del ministerio de ambiental (TULAS).

Saldarriaga, J., D. Hoyos, M. Correa. 2011. Evaluación de procesos Biológicos en la remoción simultánea de Nutrientes para Minimizar La Eutrofización. *Rev. EIA.* 15: 129-140. <http://web.a.ebscohost.com/ehost/serarch/selectdb?sid=c8bcffaf-339a-4797->

8d0c-57d44468b567%40sessionmgr4005 &vid=1&hid=4109.

Santiago-Rodríguez, T. M., C. Dávila, J. González, N. Bonilla, P. Marcos, M. Urdaneta, & G.A. Toranzos. 2010. Characterization of *Enterococcus faecalis*-infecting phages (enterophages) as markers of human fecal pollution in recreational waters. *Water research*, 44(16), 4716-4725.

Standard Methods. 1995. Standard Methods for the Examination of water and waste water 19th ed., American public Health Association, Washington, DC. USA.

ULEAM. 2012. Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí. Matriculados 2013. Consultado 10 de Abril 2014. Disponible en: <http://www.uleam-secretaria.com>

Van Haandel, A., G. Marais. 1999. O Comportamento do sistema se lodo activado- teoria e aplicações para projeto e Operação Epgraf. Paraiba, Brasil. 488 pp.