EL MISIONERO DEL AGRO

EFECTOS DEL JACINTO DE AGUA (Eichhornia crassipes) Y DE MICROORGANISMOS EFICIENTES EN LAS AGUAS RESIDUALES URBANAS DEL CANTÓN NARANJITO, ECUADOR

EFFECTS OF WATER HYACINTH (Eichhornia crassipes) AND EFFICIENT MICROORGANISMS IN URBAN WASTEWATER OF NARANJITO CANTON, ECUADOR

Filiación:
Universidad Agraria del Ecuador, Ciudad de Naranjito, Cdla. Xavier Marcos Stagg, calle S/N, Solar 19, Mz 88

Autor:
Gavilánez Luna Freddy Carlos
Correo-E.: freddy_gavilanez@yahoo.es / fgavilanez@uagraria.edu.ec
Telf. Cel.: +593 4 2720815 / +593 9 95309479

Naranjito, Ecuador

Fecha de presentación: 03/06/2016
Fecha de aceptación: 29/08/2016

EFECTOS DEL JACINTO DE AGUA (Eichhornia crassipes) Y DE MICROORGANISMOS EFICIENTES EN LAS AGUAS RESIDUALES URBANAS DEL CANTÓN NARANJITO, ECUADOR

EFFECTS OF WATER HYACINTH (Eichhornia crassipes) AND EFFICIENT MICROORGANISMS IN URBAN WASTEWATER OF NARANJITO CANTON, ECUADOR

Filiación

Universidad Agraria del Ecuador, Ciudad de Naranjito, Cdla. Xavier Marcos Stagg, calle S/N, Solar 19, Mz 88

Autor

Gavilánez Luna Freddy Carlos
Correo-E.: freddy_gavilanez@yahoo.es / fgavilanez@uagraria.edu.ec
Telf. Cel.: +593 4 2720815 / +593 9 95309479

Fecha de presentación: 03/06/2016
Fecha de aceptación: 29/08/2016

Resumen

La presente investigación se la llevó a cabo en la planta de tratamiento de agua residual de la ciudad de Naranjito en la provincia del Guayas, Ecuador; durante el mes de octubre del año 2013 y consistió en la evaluación de los efectos depuradores que realizan la especie acuática Eicchornia crassipes y microorganismos eficientes; valorándolos a través de contaminantes físicos, químicos, orgánicos, microbiológicos y a partir de la característica sensorial del olor. Para ello se utilizó un diseño experimental completamente al azar, compuesto de cuatro tratamientos con tres repeticiones, en donde cada unidad experimental fueron estanques de 1m³ de volumen. Los tratamientos evaluados se definieron como: Jacinto de agua *(E. crassipes)*; bacterias comerciales; microorganismos nativos, capturadas mediante arroz fermentado; y el testigo absoluto. Con tiempos de retención hidráulica de 7 y 14 días, se evaluaron ocho parámetros contaminantes, tales como DBO_5, *DQO*, H_2S, nitrógeno total Kjeldahl *(NTK)*, fósforo total *(PT), SST,* coliformes totales *(CT)* y coliformes fecales *(CF)*; así como los tres indicadores de funcionamiento: temperatura, *OD* y *pH*; además del olor. Entre los principales resultados, *E. crassipes* fue el tratamiento que reportó, en la mayoría de los parámetros, los promedios estadísticos más bajos; especialmente en la remoción de H_2S, la DBO_5 y la *DQO*, con valores del 50.0%, 94.8% y 87.6%, respectivamente. En el caso del contaminante microbiológico *CT* y *CF*, sólo con el sistema de lagunaje es posible obtener niveles debajo del límite máximo permisible por la legislación ambiental ecuatoriana. Finalmente, la mayor reducción del mal olor del agua residual se logró con *E. crassipes.*

Palabras clave: Agua residual, carga orgánica, proceso anaerobio, retención hidráulica, sulfuro de hidrógeno.

Abstract

This research was carried at the treatment plant of residual water of the Naranjito city in the province of Guayas, Ecuador; in October 2013 it consisted of assessing the effects of scrubbers performing aquatic species Eicchornia crassipes and efficient microorganisms; valuing them through physical, chemical, organic, microbiological and sensory characteristics from odor contaminants. An experimental randomized design consisting of four treatments with three replicates, where each experimental unit was ponds 1m³ volume was used. The treatments were defined as: Water of Jacinto *(E. crassipes)*; commercial bacteria; native microorganisms captured by fermented rice; and absolute control. With hydraulic retention times of 7 and 14 days, eight contaminants such parameters were evaluated as BOD_5, *COD*, H_2S, Total Kjeldahl nitrogen *(TKN)*, total phosphorus *(TP), TSS,* total coliforms *(TC)* and fecal coliforms *(FC)*; and the three performance indicators: temperature, *DO* and pH; also the odor. Among the main results, *E. crassipes* was the treatment reported on the most parameters, the lowest statistical averages; especially in the removal of H_2S, BOD_5 and *COD*, with values of 50.0%, 94.8% and 87.6%, respectively. In the case of microbiological contaminant *CT* and *CF*, only impoundment system is feasible to obtain levels below the maximum permissible limit of Ecuadorian environmental legislation. Finally, the greatest reduction of odor from waste water was achieved with *E. crassipes.*

keywords: residual water, organic load, anaerobic process, hydraulic retention, hydrogen sulfide.

Introducción

En el Ecuador, las enfermedades diarreicas producidas por la contaminación biológica del agua son la primera causa de mortalidad infantil. La contaminación biológica de las aguas se debe principalmente a la ausencia o insuficiencia de tratamiento de las aguas servidas. Si bien se está ampliando la cobertura de alcantarillado a nivel del país, del 66,6% de aguas servidas eliminadas a la red pública en sectores urbanos, apenas el 5 % son tratadas. Por esta razón, casi todos los ríos del país cercanos a las áreas urbanas tienen altos niveles de coliformes, DBO, nitrógeno y fósforo (Weemaels 2009).

El mal manejo de las aguas residuales, provenientes de diversas actividades humanas, constituyen la principal fuente de contaminación de las aguas superficiales. En este sentido, la restricción más importante que tienen, especialmente las poblaciones de escasos recursos económicos, son los elevados costos que involucran los tratamientos de las aguas residuales. Esto hace buscar imperiosamente métodos alternativos que reduzcan los elementos contaminantes a niveles aceptables e inocuos, y que a la vez, sean económicos y eficientes.

La ciudad de Naranjito es uno de los veinticinco cantones que tiene la provincia del Guayas. Ubicado en la parte sur oriental de la provincia, cuenta con una población aproximada de 37,000 habitantes (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos 2010). No tiene zona industrial alguna y su desarrollo económico proviene, en una gran parte, de las explotaciones agrícolas (banano, caña de azúcar, cacao, piña, maíz, entre otros); mientras la parte restante, de las industrias de cantones vecinos como Marcelino Maridueña y Milagro. La ciudad cuenta parcialmente con un sistema de alcantarillado para aguas residuales domésticas a nivel de la zona urbana, recientemente instalado (año 2010), brindando el servicio a 4200 familias. El método de tratamiento consta de lagunas de oxidación (lagunaje), en donde el proceso es básicamente anaerobio. Adicionalmente, las aguas residuales reciben un tratamiento a base de bacterias degradadoras para reducir principalmente los contenidos de materia orgánica (Demanda bioquímica de oxígeno – DBO) y algunos otros elementos como grasas y aceites; actividad que comparada con el presupuesto anual que maneja la municipalidad, resulta relativamente oneroso.

En la ciudad de Naranjito no existen industrias que puedan ocasionar contaminación con elementos químicos fuertes, como es el caso de los metales pesados (mercurio, arsénico, plomo, cadmio, etc.). Básicamente las aguas residuales son de uso doméstico en su gran mayoría, y por lo tanto, la contaminación es más de origen orgánico. Aunque la ciudad cuenta con el sistema de lagunaje para el tratamiento de las aguas residuales donde el proceso básicamente es

anaerobio; este tipo de tratamiento no es completo, y alguna parte de contaminación biológica es depositada en una fuente de agua superficial aledaña. Otro problema adicional y recurrente, es la emisión de los malos olores y las molestias que esto conlleva debido al mismo proceso anaeróbico que se produce en las lagunas, especialmente para la ciudadela adjunta a las lagunas de tratamiento; ya que las mismas no tienen el distanciamiento correspondiente respecto del centro poblado. Asimismo, por la situación económica de la ciudad, el uso de métodos sofisticados de remediación de estas aguas es prácticamente imposible. Esta situación obliga a buscar otras alternativas viables, que ofrezcan resultados aceptables dentro de un marco de conservación del ambiente y a la vez, mitiguen el problema de los malos olores.

Los sistemas de tratamientos acuáticos son una variante adecuada para la depuración de aguas residuales. En ellos las plantas acuáticas funcionan como filtros biológicos removiendo sustancias tanto biodegradables como no biodegradables, nutrientes, sustancias tóxicas y microorganismos patógenos (Lord 1982). Por otro lado, el uso de microorganismos nativos o autóctonos de la zona, representan una alternativa potencial y económica, que una vez capturados y reproducidos a través de medios caseros, pueden ser utilizados para la biodegradación de sustancias contaminantes presentes en las aguas residuales urbanas.

En respuesta a lo planteado, se propuso como objetivo la determinación de los efectos del Jacinto de agua *(E. crassipes)* y de microorganismos eficientes en las aguas residuales urbanas del cantón Naranjito, a través de los parámetros químicos: sulfuro de hidrógeno *(H_2S)*, pH, oxígeno disuelto *(OD)*, nitrógeno total Kjeldahl *(NTK)* y fósforo total *(PT)*; de las cargas orgánicas: demanda bioquímica de oxígeno *(DBO_5)* y demanda química de oxígeno *(DQO)*; de los contaminantes microbiológicos: coliformes totales *(CT)* y los coliformes fecales *(CF)* y de los parámetros físicos: temperatura y sólidos suspendidos totales *(SST)*; además del nivel de olor, medido subjetivamente con escala hedónica.

Todos estos parámetros fueron considerados de acuerdo a la característica del agua residual de la ciudad y a los requerimientos de límites máximos para los efluentes que se descargan a las fuentes superficiales de agua que establece la Legislación Ambiental Ecuatoriana.

Materiales y Métodos

El estudio se desarrolló en la planta de tratamiento de aguas residuales del cantón Naranjito, entre los meses de septiembre y octubre del 2013, la cual se encuentra ubicada en las coordenadas UTM: (17M) 0669096 E, 9760410 N y cuya altitud es de 45 msnm. La distribución experimental utilizada fue un diseño completamente al azar (DCA), con 4 tratamientos y 3 repeticiones. Cada unidad experimental estuvo representada por estanques en tierra de 1m³ de capacidad, con revestimiento de plástico negro. Los tratamientos valorados fueron: Estanque cubierto de *E. crassipes*, bacterias benéficas de tipo comercial, microorganismos eficientes nativos capturados con trampas de arroz fermentado y el testigo absoluto (sólo lagunaje). Cabe indicar que las dosis de microorganismos utilizados en los dos casos fue de 12 cm³ por estanque, durante 7 días.

Los microorganismos comerciales utilizados vienen en polvo, con una densidad de 0.77 g/cm³ y una concentración de bacterias $>5.0\times10^{9}$ *UFC/g*. Según la ficha técnica, es un producto diseñado para el tratamiento de aguas residuales y para trabajo de remediación de suelos contaminados con hidrocarburos y pesticidas. En la preparación de 200 L de solución de microorganismos, según lo recomendado por la casa comercial, se mezclan 3.0 Lb del producto con 3.0 *kg* de melaza.

Los microorganismos nativos fueron capturados con 230g de arroz cocido que luego fue mezclado con melaza y depositada en una zona boscosa aledaña a las lagunas de oxidación. Esta mezcla fue sometida a 25 días de fermentación anaeróbica en 4 litros de una solución compuesta de 0.5 L de melaza, 100g de levadura, 100 cm³ de salsa de soya, 100 cm³ de yogurth natural y 0.5 L de leche.

En los dos tratamientos a base de microorganismos, de los volúmenes indicados, se utilizaron 40 cm³ como dosis para cada unidad experimental durante una semana, con el propósito de crear biomasa bacteriana. Al término de la semana, cada unidad experimental fue vaciada dejando sólo ¼ de su capacidad, para nuevamente llenar cada una, dando inicio en ese momento el experimento con un tiempo de retención hidráulica de 14 días. Durante las dos semanas, las dosis de microorganismos para las unidades experimentales que les correspondía este tratamiento, fue de 12 cm³ por cada una de ellas.

El muestreo se realizó en función del tiempo, partiendo con una primera muestra al momento de introducir las aguas residuales en los estanques (laguna anaerobia) en condiciones "crudas", al iniciar el experimento. Se llevó a cabo un primer muestreo a los 7 días de iniciado el experimento, en cada uno de los estanques de todo el ensayo. La segunda recolección de muestras se realizó a los 14 días de iniciado el experimento.

Las mediciones, tanto del pH, de la temperatura y del oxígeno disuelto, se realizaron diariamente en el mismo sitio. Las mediciones de pH y de OD fueron realizadas con equipos de la marca SPER SCIENTIFIC LTDA; mientras que las mediciones de temperatura se realizó con un equipo de la marca AQUATEMP Waterproof thermometer.

En el caso de los parámetros contaminantes como *H_2S, NTK, PT, DBO_5, DQO, CT, CF* y los *SST*, sus determinaciones se realizaron bajo el Standard Methods 2012, 22 th edition. La valoración sensorial del olor del agua residual tratada se realizó a los 14 días de retención hidráulica, utilizando un panel de 10 personas, basado en una escala hedónica de 6 puntos en donde 1 representaba la ausencia de olor y 6 a un olor muy fétido.

Los datos fueron procesados en el software Microsoft Excel. La valoración estadística de los datos se realizó utilizando el análisis de varianza (ANDEVA), corroborando la normalidad de los datos a través del coeficiente de variación (CV<30%) y realizando los respectivos ajustes de varianzas (logarítmicos y $\sqrt{Y}$), en ciertos casos, para verificar la validez del análisis del ANDEVA. La comparación de promedios se realizó a través del test de Duncan (P<0.05). Estos análisis se realizaron con la versión libre del software estadístico Infostat.

Resultados

Según el ANDEVA, los valores de *NTK* no presentaron variación significativa a los 7 días de retención hidráulica (RH), pero a pesar de esto, el test de Duncan (P<0.05) determinó que el tratamiento T3 (Bacterias nativas) fue el de menor promedio estadístico (0.16 mg/l). Mientras que a los 14 días de RH, el ANDEVA si reportó diferencias significativas (P<0.05) entre los tratamientos; clasificando al tratamiento T1 (Jacinto de agua), de acuerdo al test de Duncan (P<0.05), como uno de los menores promedios estadísticos (0.28 mg/l) (tabla 1)

Tabla 1: PROMEDIOS DE NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL (NTK) (mg/l) A TIEMPOS DE RETENCIÓN HIDRÁULICA DE 7 Y 14 DÍAS, CLASIFICADOS SEGÚN EL TEST DE DUNCAN (P<0.05).

N°	TRATAMIENTOS	PROMEDIOS			
		7 días de RH		14 días de RH	
1	Jacinto de agua (E. crassipes)	0.60	ab	0.28	b
2	Bacterias comerciales	1.45	a	2.50	b
3	Bacterias nativas	0.16	b	1.56	b
4	Testigo absoluto	0.66	ab	8.66	a

Letras iguales no difieren estadísticamente.

Entre los datos de *PT*, según el ANDEVA, los tratamientos no reportaron diferencias estadísticas, tanto a los 7 ni a los 14 días de RH. No obstante de aquello, el test de Duncan (P<0.05) estableció que el tratamiento T3 (Bacterias nativas) era el de menor promedio estadístico a los 7 días de RH, con un valor de 0.17 mg/l; mientras que a los 14 días, esta misma prueba, ubicó al tratamiento T1 (Jacinto de agua) como el de menor promedio estadístico (0.20 mg/l) (tabla 2).

TABLA 2. PROMEDIOS DE FÓSFORO TOTAL (PT) (mg/l) A TIEMPOS DE RETENCIÓN HIDRÁULICA DE 7 Y 14 DÍAS, CLASIFICADOS SEGÚN EL TEST DE DUNCAN (P<0.05).

N°	TRATAMIENTOS	PROMEDIOS			
		7 días de RH		14 días de RH	
1	Jacinto de agua (E. crassipes)	0.44	ab	0.20	b
2	Bacterias comerciales	0.35	ab	0.53	a
3	Bacterias nativas	0.17	b	0.40	ab
4	Testigo absoluto	0.52	a	0.49	ab

Letras iguales no difieren estadísticamente.

Entre los datos de la ***DBO₅***, a los 7 días de RH, no hubo variación significativa entre los tratamientos (P>0.05). A pesar de aquello, el test de Duncan al 5% de probabilidad, estableció que el tratamiento T1 (Jacinto de agua) era uno de los menores promedios estadísticos (50.3 mg/l). Para los 14 días, el análisis de varianza determinó variación significativa entre los tratamientos (P<0.01), resultando también el tratamiento T1 (Jacinto de agua) como el de menor promedio estadístico, con un valor de 3.0 mg/l (tabla 3).

TABLA 3. PROMEDIOS DE LA *DBO₅* (mg/l) A TIEMPOS DE RETENCIÓN HIDRÁULICA DE 7 Y 14 DÍAS, CLASIFICADOS SEGÚN EL TEST DE DUNCAN (P<0.05).

N°	TRATAMIENTOS	PROMEDIOS DBO_5			
		7 días de RH		14 días de RH	
1	Jacinto de agua (E. crassipes)	39.7	b	3.0	c
2	Bacterias comerciales	62.7	ab	9.3	b
3	Bacterias nativas	105.7	a	35.0	a
4	Testigo absoluto	50.3	b	7.3	bc

Letras iguales no difieren estadísticamente.

Variabilidad estadística entre tratamientos no se reportó entre los valores de la ***DQO*** a los 7 días de RH, sin embargo, la prueba de Duncan (P<0.05) reportó al tratamiento T1 (Jacinto de agua) con el menor promedio estadístico (65.0 mg/l). Por otro lado, a los 14 días de RH, el ANDEVA si estableció diferencias significativas (P<0.05); clasificando nuevamente al tratamiento T1 con el menor promedio (9.3 mg/l) (tabla4).

TABLA 4. PROMEDIOS DE LA DQO (mg/l) A TIEMPOS DE RETENCIÓN HIDRÁULICA DE 7 Y 14 DÍAS, CLASIFICADOS SEGÚN EL TEST DE DUNCAN (P<0.05).

N°	TRATAMIENTOS	PROMEDIOS *DQO*			
		7 días de RH		14 días de RH	
1	Jacinto de agua (E. crassipes)	65.0	b	9.3	b
2	Bacterias comerciales	92.3	ab	19.3	b
3	Bacterias nativas	187.0	a	146.7	a
4	Testigo absoluto	92.3	ab	19.0	b

Letras iguales no difieren estadísticamente.

Los datos de coliformes fecales (CF) no reportaron variabilidad significativa entre los tratamientos, aun con el ajuste logarítmico. Sin embargo, a los 7 días de RH, el test de Duncan, al 5% de probabilidad, clasificó al tratamiento T1 (Jacinto de agua) con el menor promedio estadístico (133.3 NMP/10ml); no obstante que a los 14 días, clasificó al tratamiento T2 (bacterias comerciales) como el de menor promedio estadístico (100.0 NMP/100ml) (tabla 5).

TABLA 5. PROMEDIOS DE COLIFORMES FECALES (CF) (NMP/100ML) A TIEMPOS DE RETENCIÓN HIDRÁULICA DE 7 Y 14 DÍAS, CLASIFICADOS SEGÚN EL TEST DE DUNCAN (P<0.05).

N°	TRATAMIENTOS	PROMEDIOS			
		7 días de RH		14 días de RH	
1	Jacinto de agua (E. crassipes)	133.3	b	1053.3	a
2	Bacterias comerciales	343.3	ab	100.0	b
3	Bacterias nativas	5743.3	a	810.0	ab
4	Testigo absoluto	606.7	ab	683.3	ab

Letras iguales no difieren estadísticamente.

En el caso de los sólidos suspendidos totales, se reportó variación significativa a los 7 días de RH; mientras que a los 14 días, el ANDEVA no reportó variabilidad importante; aun con el ajuste de los datos a $\sqrt{Y}$. En los dos tiempos de RH, el tratamiento T1 (Jacinto de agua), fue el que resultó con los menores promedios, de 7.7 mg/l y de 2.0 mg/l, respectivamente (tabla 6).

TABLA 6. PROMEDIOS DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST) (mg/l) A TIEMPOS DE RETENCIÓN HIDRÁULICA DE 7 Y 14 DÍAS, CLASIFICADOS SEGÚN EL TEST DE DUNCAN (P<0.05).

N°	TRATAMIENTOS	PROMEDIOS			
		7 días de RH		14 días de RH	
1	Jacinto de agua (E. crassipes)	7.7	b	2.0	a
2	Bacterias comerciales	8.7	b	2.7	a
3	Bacterias nativas	53.7	a	5.3	a
4	Testigo absoluto	5.0	b	2.3	a

Letras iguales no difieren estadísticamente.

La evaluación de sulfuro de hidrógeno *(H_2S)*, tanto a los 7 como a los 14 días de RH, reportó variabilidad significativa entre los tratamientos (P<0.05). Posteriormente, el test de Duncan al 5% de probabilidad, clasificó al tratamiento T1 (Jacinto de agua) como uno de los menores promedios estadísticos, con un valor de 0.0117 mg/l a los 7 días y 0.0060 mg/l a los 14 días (tabla 7).

TABLA 7. PROMEDIOS DE SULFURO DE HIDRÓGENO (H_2S) (mg/l) A TIEMPOS DE RETENCIÓN HIDRÁULICA DE 7 Y 14 DÍAS, CLASIFICADOS SEGÚN EL TEST DE DUNCAN (P<0.05).

N°	TRATAMIENTOS	PROMEDIOS			
		7 días de RH		14 días de RH	
1	Jacinto de agua (E. crassipes)	0.0117	b	0.0060	b
2	Bacterias comerciales	0.0557	b	0.0353	b
3	Bacterias nativas	0.3123	a	0.1767	a
4	Testigo absoluto	0.0367	b	0.0170	b

Letras iguales no difieren estadísticamente.

Luego de un lapso de 14 días, desde que se inició el experimento, se procedió a realizar la prueba sensorial de olor de los tratamientos. El ANDEVA determinó variación significativa (P<0.01) entre los tratamientos. La prueba de Duncan, al 5% de probabilidad, clasificó al tratamiento T1 (Jacinto de agua), con el menor promedio estadístico, siendo éste 1.9 (tabla 8). El coeficiente de variación reportado para esta variable fue de 27.64%.

TABLA 8. PROMEDIOS DE LA VALORACIÓN DEL OLOR CLASIFICADOS SEGÚN LA PRUEBA DE DUNCAN (P<0.05).

N°	TRATAMIENTOS	PROMEDIOS	
1	Jacinto de agua (*E. crassipes*)	1.9	c
2	Bacterias comerciales	2.6	b
3	Bacterias nativas	3.4	a
4	Testigo absoluto	3.1	ab

Letras iguales no difieren estadísticamente.

Los parámetros como la temperatura, el pH y el oxígeno disuelto, aunque los tratamientos reportaron diferencias entre los promedios, estos no fueron significativos y se mantuvieron dentro de los límites máximos establecidos por la Legislación Ambiental Ecuatoriana.

En cuanto a los niveles de remoción (%), en la tabla 9 se indican las proporciones de removidas por cada uno de los tratamientos a los 14 días de retención hidráulica. Puede notarse como el Jacinto de agua *(E. crassipes)* fue el tratamiento que mayor remoción de contaminantes realizó; mientras que en el caso de los otros tratamientos, reportaron parámetros que más bien se los encontró en mayor cantidad.

Discusión

La remoción de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo, por parte de *E. crassipes*, tiene cierta relación con el tiempo de retención hidráulica del agua residual. Esto es lo que se evidencia en los resultados, en donde puede notarse como el nitrógeno tiene su mayor reducción a los 14 días de retención hidráulica; logrando durante este tiempo, remover un 32 % del nitrógeno inicial. Esto también se cumple para el caso del fósforo, el cual a los 7 días la especie removió un 55% del elemento inicial; mientras que a los 14 días, la remoción fue del 80%. Estos resultados permiten compartir lo manifestado por García (2012), quien asegura que con el uso de plantas

acuáticas en tratamiento de aguas residuales es posible la remoción de los nutrientes como el nitrógeno y el fósforo.

TABLA 9. NIVELES DE REMOCIÓN (%) DE LOS PARÁMETROS CONTAMINANTES EVALUADOS A LOS 14 DÍAS DE RETENCIÓN HIDRÁULICA.

PARÁMETROS	NIVELES INICIALES	T1 (Jacinto de agua) REMOCIÓN (%)	T2 (Bacterias comerciales) REMOCIÓN (%)	T3 (Bacterias nativas) REMOCIÓN (%)	T4 (Testigo absoluto) REMOCIÓN (%)
H_2S (mg/l)	0.012	50.0%	194.2%*	1372.5%*	41.7%*
DBO_5 (mg/l)	58.0	94.8%	84.0%	39.7%	87.4%
DQO (mg/l)	75.0	87.6%	74.3%	95.6%*	74.7%
NTK (mg/l)	0.41	31.7%	509.8%*	280.5%*	2012.2%*
P - total (mg/l)	0.98	79.6%	45.9%	59.2%	50.0%
SST (mg/l)	10.0	80.0%	73.3%	46.7%	76.7%
CF (NMP/100ml)	90800	98.8%	99.9%	99.1%	99.2%
CT (NMP/100ml)	137400	86.3%	97.3%	20.0%	84.1%

*Incremento.

La reducción de contaminación microbiológica es posible sólo aplicando el sistema de lagunaje como tal, ya que los resultados así lo indican. Todos los tratamientos considerados lograron la remoción de coliformes fecales arriba del 93%. En este sentido, no se acepta lo manifestado por Valderrama et al (s.f.), respecto de lo que ellos lograron a través de un estudio utilizando las especies *E. crassipes, Lemna sp. y L. Laevigatum*, en donde se dice que dichas especies lograron remover hasta un 99% de coliformes fecales; afirmación que no puede respaldarse al observar los resultados del presente estudio en donde, de una concentración de 90800 NMP/100ml de coliformes fecales al inicio, el testigo absoluto reportó un valor de alrededor de 600 NMP/100ml, tanto a los 7 como a los 14 días de duración del experimento. Por consiguiente, el mecanismo que influye en la reducción de coliformes puede atribuirse a la sedimentación, que en su desarrollo arrastran estos microorganismos a la posición de condiciones de anaerobiosis presente en los lodos decantados; proceso que depende de manera fundamental del tiempo de retención hidráulica (Campos 2003).

La verificación del efecto depurador de *E. crassipes*, en reducciones significativas de ***DBO₅*** y de ***DQO***, es más notorio con un tiempo de retención hidráulico relativamente mayor. Es así como a los 7 días, los efectos de la especie acuática no reportan

significancia respecto de los otros tratamientos estudiados (P>0.05); pero a los 14 días, los resultados de reducción del componente referencial orgánico son estadísticamente diferentes, estableciéndose que el tratamiento a base de *E. crassipes* es el de menor contenido, tanto de la ***DBO₅*** y de la ***DQO***. Bajo esta concepción, se comparte lo manifestado por Martelo y Lara (2012), cuando dicen que el uso del Jacinto de agua en el tratamiento de aguas residuales permiten reducciones de hasta el 95% de la *DBO₅* y hasta de un 90.2% en el caso de la *DQO.*

La reducción del contenido inicial de los sólidos suspendidos totales obedece a fuerzas gravitatorias, ya que el efecto reportado por los tratamientos respecto de este parámetro no difiere estadísticamente entre ellos. Esto quiere decir, que en el sistema de lagunaje, como tal, si se produce una reducción de los sólidos suspendidos. En consecuencia, se acepta lo indicado por el Secretariado Alianza por el Agua /Ecología y Desarrollo (s.f.), que manifiesta que esta reducción pueden suceder por cualquiera de las dos condiciones: por decantamiento de una fracción de dicho componente; mientras que otra parte también lo hace, pero una vez que se han formado flóculos más densos que el agua debido a la adhesión de microorganismos sobre la superficies de las partículas suspendidas. Este criterio también tiene un respaldo en lo manifestado por Acosta (2005), al mencionar que en el decantamiento de materiales en suspensión de un agua residual, arrastran en su caída una cierta cantidad de bacterias, con lo que se alcanza también, en este tipo de tratamiento, una reducción de la DBO y una cierta depuración biológica.

Las reacciones bioquímicas dentro del proceso de autodepuración que realizan las aguas residuales son fenómenos similares a los que ocurren en las fuentes naturales de agua superficial (Félez M. s.f.), esto se evidencia con los resultados obtenidos en el tratamiento testigo. Dejar el agua estancada con un tiempo de retención hidráulica de 14 días, en condiciones mayoritarias de anaerobiosis, han permitido realizar remociones de ***DBO₅*** y de ***DQO*** de 87.4 % y 74.7 %, respectivamente; así como de coliformes fecales, en una proporción del 92.2 %.

Al revisar los resultados sensoriales de las pruebas de olor puede notarse que existe una relación importante entre los niveles de sulfuro de hidrógeno *(H_2S)* reportados por cada tratamiento y la respectiva valoración sensorial realizada a los 14 días del experimento; esto se respalda en la magnitud de 0.80 del coeficiente de correlación de Spearman. Por lo tanto, se considera lo expresado por el Secretariado Alianza por el Agua /Ecología y Desarrollo (s.f.), al indicar que la generación de estos olores desagradables proviene principalmente del gas sulfhídrico producido por la reducción, vía anaerobia, de los sulfatos presentes en las aguas residuales.

Existe un proceso complejo realizado por el Jacinto de agua, en la disminución del mal olor del agua

residual, ya que mientras los restantes tratamientos estudiados reportaron promedios de oxígeno disuelto arriba de los 2 mg/l, el tratamiento a base de la mencionada especie acuática presentó los valores estadísticamente más bajos (1.3 y 1.8 mg/l a los 7 y 14 días, respectivamente). Pero a pesar de ello, el tratamiento a base de *E. crassipes* fue el que estadísticamente reportó los más bajos contenidos de sulfuro de hidrógeno, lo cual de alguna manera está relacionado al hecho de presentar también la menor percepción de olor. Este resultado relativamente concuerda por lo manifestado por España J (2006), quien indica que la materia orgánica degradable presente en el agua, ya sea soluble o insoluble, se elimina por los microorganismos que viven adheridos al sistema radicular de la planta y que reciben el oxígeno a través de un sistema de aireación muy especializado; por lo tanto, la descomposición aeróbica tiende a ser más rápida y completa que la anaerobia y por consiguiente, se consiguen evitar los problemas de olores asociados a los procesos de descomposición anaerobia.

El propio complejo de microorganismos, especialmente las bacterias anaerobias, característico de las aguas residuales, realizan la depuración de los contaminantes orgánicos del agua. Esto es notorio en los resultados obtenidos para los parámetros relacionados como la ***DBO$_5$***, la ***DQO*** y los *SST*; en los cuales no se lograron diferencias relativamente importantes respecto del testigo. Bajo esta perspectiva es importante lo que publica el Secretariado Alianza por el Agua /Ecología y Desarrollo (s.f.), cuando manifiesta que las bacterias son las principales responsables de la mineralización de la materia orgánica en los sistemas de depuración por lagunaje, siendo las más abundantes las quimioheterótrofas formadoras de ácidos y de metano. Esta situación explica los resultados de la caracterización realizada a las bacterias que se utilizaron como tratamientos, en donde se identificaron en presencia mayoritaria, bacterias del género *Bacillus y Lactobacillus*; las cuales poco o nada aportaron en cuanto a una mayor depuración del agua residual respecto del testigo.

Conclusiones

Por la magnitud de la concentración encontrada respecto de los contaminantes orgánicos, tales como la ***DBO$_5$,*** la ***DQO*** y los ***SST***, aun sin tratamiento alguno, dichas aguas, según el Texto Unificado de Legislación Ambiental (TULAS) del Ecuador y de acuerdo a los niveles permisibles que se detallan en el libro VI del anexo 1 cumplen con la norma de calidad ambiental para la descarga de efluentes a los cauces naturales. Sin embargo, debido a la significancia estadística encontrada entre los tratamientos estudiados, *E. crassipes* fue el tratamiento que relativamente presentó los menores promedios de los contaminantes orgánicos evaluados,

especialmente con un tiempo de retención hidráulica de 14 días.

Para el caso de los contaminantes microbiológicos, medidos a través de los coliformes fecales y coliformes totales, según el TULAS, el agua residual en estado fresco rebasa el límite permitido; no obstante, considerando que no se presentó variación significativa entre los tratamientos estudiados, con sólo el tratamiento anaeróbico que se realiza en el sistema de lagunaje, se pueden disminuir estos microorganismos hasta niveles permitidos para descarga de los efluentes a los cauces.

En ninguno de los contaminantes químicos evaluados, tales como el nitrógeno total Kjeldahl, fósforo total, el sulfuro de hidrógeno *(H_2S)* y el pH, los niveles del agua residual fresca rebasó el límite máximo permitido por el TULAS para la descarga de efluentes. Pero a pesar de ello, *E. crassipes* fue el tratamiento que presentó los más bajos niveles de los primeros tres contaminantes mencionados, significativamente diferentes a los otros tratamientos. En el caso del pH, todos los tratamientos se mantuvieron dentro de los niveles legalmente permitidos; situación que también sucedió con la temperatura.

El olor tiene una importante relación con los niveles de *(H_2S)* encontrados, los cuales a su vez, fueron más afectados por *E. crassipes*; especie que reportó el más bajo promedio en la valoración cualitativa del olor, significativamente diferente al resto de tratamientos; lo que consecuentemente y de acuerdo a los resultados, es un tratamiento que puede disminuir el mal olor de las aguas residuales.

Referencias

Acosta F., 2005. Desodorización de las emisiones de una estación depuradora de aguas residuales mediante absorción química. Proyecto de fin de carrera de ingeniería química, Universidad de Cádiz, España.

Alianza por el Agua, 2011. Manual de Depuración de Aguas Residuales Urbanas. Impreso por ARPIrelieve. España.

Campos C., 2003. Agua potable para comunidades rurales, reuso y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas. Red iberoamericana de potabilización y Depuración del agua y Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (RIPDA - CYTED), España.

España J., 2006. Estanques de Jacinto de agua (Eichhornia crassipes) para tratamiento de residuos industriales. Facultad de Ingenierías, Escuela de Ingeniería Química, Universidad del Valle, Colombia.

Félez M., 2009. Situación actual del estado de la depuración biológica: Explicación de los métodos y sus fundamentos. Universidad Politécnica de Catalunya, España.

García Z., 2012. Comparación y evaluación de tres plantas acuáticas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas. Tesis para ingeniero sanitario. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima – Perú.

Gavilánez F., 2015. Efectos del Jacinto de agua (Eichhornia crassipes) y de bacterias benéficas en las aguas residuales urbanas del cantón Naranjito, provincia del Guayas, Ecuador. Tesis doctoral. Universidad Nacional de Tumbes, Perú.

Lord R.D., Citado por Rodríguez P.A.C., et al. Acción depuradora de algunas plantas acuáticas sobre las aguas residuales. Centro de investigaciones hidráulicas, Instituto Superior Politécnico José A. Echeverría, La Habana – Cuba.

Martelo J. y Lara J., 2012. Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales: una revisión del estado del arte. Revista Ingeniería y Ciencia, volumen 8 N° 15, 23.

Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua. TULAS (Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria de la República del Ecuador). Libro VI. Anexo 1.

Valderrama T., et al., s.f. Evaluación del efecto del tratamiento con plantas acuáticas (E. crassipes, Lemna sp. y L. Laevigatum) en la remoción de indicadores de contaminación fecal en aguas residuales domésticas. Publicación del Centro oeste de estudios políticos y socio ambientales – COEPSA, Argentina.

Weemaels N., 2009. Uso y Aprovechamiento del agua: Situación Nacional y Propuesta. Propuesta dirigida a la Asamblea Nacional para el Proyecto de Ley Orgánica de los Recursos Hídricos, Uso y Aprovechamiento del Agua, Universidad Andina Simón Bolívar.