

INNOVACIÓN E IMPLEMENTACIÓN BIOLÓGICA EN LA PLANTA DE PUERTO ARTURO – EMAPA-A PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES Y AGUAS SERVIDAS DOMICILIARES

Paúl Veintimilla^{1/}; Ramiro Velasteguí^{2/}

1/ Tesista Ing. Bioq. 2012-2014. Carrera de Ingeniería Bioquímica, Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos, Universidad Técnica de Ambato.

2/ PhD, Profesor Carrera de Ingeniería Bioquímica, Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos, Universidad Técnica de Ambato.

Campus Académico Huachi. Av. Los Chasquis y Río Payamino, Telf: 032400987

Ambato-Ecuador

E-mails: veintimilla.pozo.paul@gmail.com

rvelasteguis@yahoo.com

Palabras Clave: Innovación, implementación, aguas residuales, servidas, domiciliarias, tratamiento, microorganismos.

RESUMEN

La investigación tuvo como propósito mejorar la calidad del agua que pasa por la planta de tratamiento de EMAPA en Puerto Arturo utilizando medios biológicos tales como microorganismos eficientes (EM), *Eichhornia crassipes* (lechuguín ó jacinto de agua) y medios físicos tales como flautas de oxigenación encima del filtro de piedra descendente con arena de cuarzo. Se evaluaron parámetros físico-químicos y microbiológicos en los laboratorios de EMAPA-Casigana, para su comparación con los límites permisibles del texto unificado de legislación ambiental secundaria (TULAS). La evaluación analítica realizada evidenció resultados aceptables en trece de diecisiete parámetros como son aluminio, DBO, DQO, fluoruros, fósforo, hierro, nitritos, pH, sólidos sedimentables, sólidos totales, sólidos suspendidos, sulfatos y tensoactivos o detergentes.

SUMMARY

The research was aimed to improve the quality of water passing through the treatment plant in Port Arthur EMAPA using biological means such as effective microorganisms (EM) and *Eichhornia crassipes* (water hyacinth or lechuguín) and physical means such as flutes oxygenation above the filter down stone with quartz sand. Physico-chemical and microbiological parameters were evaluated in laboratories EMAPA-Casigana, for comparison with the permissible limits of the unified text of secondary environmental legislation (TULAS). The analytical evaluation performed showed acceptable results in thirteen of seventeen parameters such as aluminum, BOD, COD, fluoride, phosphorus, iron, nitrite, pH, settleable solids, total solids, suspended solids, sulfates and surfactants or detergents.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad se ha tomado conciencia del peligro que ocasiona el desechar aguas contaminadas directamente hacia los ríos y lagos,

ya que esto además de causar daños en el ecosistema que está en contacto directo, puede afectar procesos subsecuentes de tratamiento del agua como la presencia de metales pesados.

La mayoría de las técnicas de tratamiento dependen de las características del contaminante que se desea eliminar. Entre las técnicas más empleadas se cuentan las técnicas de precipitación (metales), intercambio iónico, complejos, procesos biológicos, etc. (Enkerlin y colaboradores, 1997).

Según su origen, las aguas contaminadas resultan de la combinación de líquidos y residuos sólidos transportados por el agua que proviene de residencias, oficinas, edificios comerciales e instituciones, que junto con los residuos de las industrias y de actividades agrícolas así como de las aguas subterráneas, superficiales o de precipitación también pueden agregarse eventualmente al agua residual (Rodríguez, 2006).

El lechuguín (*Eichhornia crassipes*) es una especie flotante de raíces sumergidas, se cultiva a una temperatura entre 20-30°C (Ávila. Et al, 2000). Esta planta obtiene del agua todos los nutrientes que requiere para su metabolismo, siendo el nitrógeno y el fósforo, junto a los iones de potasio, calcio, magnesio, hierro, amonio, nitrito, sulfato, cloro, fosfato y carbonato, los más importantes (Metcalf y Eddy, 1995). La planta es muy tolerante, y de alta capacidad de captación de metales pesados, tales como Cd, Cr, Co, Ni, Pb, Hg, etc. que podría ser utilizado para la biolimpieza de aguas residuales industriales (Peña y Chang, 2007).

En cuanto a las características biológicas de las aguas contaminadas, los microorganismos eficaces tienen un efecto indiscutible precisamente por su calidad de "eficaces". Su habilidad de acción y reproducción impide y/o limita el desarrollo de otros microorganismos (patógenos) por competencia. Además, las condiciones antioxidantes suprimen el desarrollo de microorganismos patogénicos (Higa y Chinen, 1998).

El EM1® puede revertir estas situaciones de manera natural y económica. Los microorganismos eficaces, a través de un proceso de fermentación benéfico aceleran la descomposición natural de los compuestos orgánicos, produciendo sustancias bioactivas y eliminando los microorganismos patógenos que promueven la putrefacción y la producción de gases nocivos que contaminan el agua y producen malos olores. Así, con la aplicación de EM1® es posible restaurar el equilibrio natural del sistema acuático, trayendo consigo efectos benéficos y sostenibles (EM research organization, 2013).

La oxigenación en el agua es principalmente absorbida de la atmósfera. El oxígeno se mueve continuamente entre el agua y el aire, la dirección y velocidad de este movimiento depende del contacto entre ambos, si la superficie del agua está expuesta al aire, absorberá más oxígeno de la atmósfera que una masa de agua en calma. Una vez en el agua, el oxígeno es utilizado por la vida acuática. Los peces y otros animales acuáticos necesitan oxígeno para respirar.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Etapas de estudio en la innovación e implementación biológica

2.1.1 Tanque sedimentador con EM-1®

Tiene como fin la retención de sólidos, la reducción de la carga orgánica y formación de lodos producto de la sedimentación que junto a los microorganismos eficientes (EM1) producen una fermentación deteniendo de esta manera la putrefacción y mejorando la calidad del agua.

2.1.2 Tanque mixto con lechuguín, flautas de oxigenación, arena de cuarzo y filtro de piedra descendente.

Con la planta acuática *Eichhornia crassipes* conocida como lechuguín se produce la retención

de sólidos y mejora en olores, las flautas de oxigenación esparcen el agua en todo el filtro de piedra con arena de cuarzo con el fin de brindar oxígeno al agua y retener la mayor cantidad de sólidos y coliformes.

La etapa de filtro de piedra descendente de capacidad total de 27.87 m³ pasó a ser un tanque de lechuguines de 11.60 m³ (1.45 m * 2.00 m * 4.00m), con tubos PVC con perforaciones espaciadas de 10 cm a lo largo de tubo a una altura de 25 cm sobre el filtro de piedra, con una capacidad de 16.25 m³ (1.45 m * 2.00 m * 4.00 m), en esta etapa se brindó oxigenación al agua por contacto con el aire como fuente ilimitada de oxígeno, sedimentación, retención de sólidos, control de olores, retención aceites y grasas. Sobre el filtro de piedra se añadió ayuda colocando arena de cuarzo procedente de las etapas de filtración en las plantas de agua potable de la empresa (EMAPA-A), aprovechando recursos con la finalidad de disminuir coliformes.

2.1.3 Remediación con microorganismos eficientes (EM)

Se procedió a la aplicación de microorganismos eficientes (EM) para el tratamiento de aguas contaminadas que demanda el sector y control de caudal para su funcionamiento. La fosa séptica ahora denominada tanque sedimentador por su comportamiento y construcción, se produce una separación suave de agua y sólidos por gravedad (Fioravanti y Vega, 2003), tiene una capacidad de almacenamiento de 367.33 m³.

2.2 Plan de estudio

2.2.1 Reconocimiento estructural de la Planta de Tratamiento

- Determinación de las etapas de tratamiento que posee la planta.
- Seguimiento del proceso de tratamiento en todas sus etapas.

- Recopilación de información gráfica y escrita sobre la operación de la planta.
- Conocer los materiales de construcción utilizados en la planta.

2.2.2 Proceso de Innovación e Implementación biológica

- Control de caudal para mejor rendimiento en la planta de tratamiento.
- Mantenimiento general de la planta de tratamiento
- Efectuar pruebas operativas en cada etapa de tratamiento mediante supervisiones diarias.
- Análisis de pH.
- Toma de muestras en cada etapa.
- En 25 días se tomó las muestras pertinentes para los análisis físico-químicos y microbiológicos en los laboratorios pertenecientes a EMAPA-A.

2.2.3 Proceso de adecuación y mantenimiento de la planta de tratamiento

- Corrección de fallas de construcción en el tanque sedimentador de tipo manual.
- Eliminar la maleza presente alrededor de la planta de tratamiento
- Dotar de carga microbiana durante veinte y cinco días (microorganismos eficientes), partiendo de la dosis recomendada mensual de 1/10000 L de agua.
- Lavado íntegro de las rocas o piedras presentes en los filtros.
- Control de caudal.

2.2.4 Proceso de implementación del tanque mixto de *Eichhornia crassipes* (lechuguín) y oxigenación

- Construcción de un muro de ladrillos de 1.95 m de alto, esto divide el tanque del conducto de desagüe.
- Colocación de lechuguín en etapa madura al tanque mixto con un volumen de 11.60 m³.
- Control de "lechuguín" con el agua a tratar, se elimina plantas muertas en caso de haberlo.

2.2.5 Proceso de activación e inoculación de microorganismos eficientes (EM)

Los microorganismos presentes en el producto comercial EM•1® están en estado de latencia y se debe aplicar el siguiente instructivo:

PARA ACTIVAR: se usó la proporción de una parte de EM•1® (5%) para una parte de melaza (5%) de caña o azúcar para dieciocho partes de agua (90%) limpia (sin cloro), así, 1 litro de EM•1® le rendirá 20 litros de EM•1®-activado para aplicación.

Para agua tratada con cloro, antes de usarla, es necesario colocarla en un recipiente abierto y exponerla a la luz por 24 horas.

Para la activación, se usó sólo recipientes plásticos limpios y con tapas que permitan el cierre hermético para evitar la entrada de aire.

Independiente del volumen total del recipiente utilizado, realice los siguientes pasos:

- A. Llenar el recipiente con 9 partes de agua, o por la mitad.
- B. Colocar 1 parte de EM•1® y 1 parte de melaza de caña o azúcar.
- C. Agitar bien para disolver la melaza o el azúcar hasta formar una solución homogénea.
- D. Agregar las otras 9 partes de agua y cierre bien el recipiente para evitar la entrada de aire.

E. Mantener el EM•1®-activado en un lugar cuya temperatura oscile de cálida a caliente (25 a 40°C) durante un período de 4 a 7 días para su respectiva fermentación.

F. Durante la fermentación, y ya a partir del 2º día, se produce gas. Es necesario eliminar el exceso abriendo el recipiente apenas lo suficiente para extraerlo. Realizar la extracción del gas cada vez que sea necesario.

G. El EM•1®-activado está listo para usar a partir del 4 al 7º día, cuando el pH de la solución esté abajo de 4,0, o cuando presente un olor agríndice agradable y exista un cambio de color de café-oscuro a café-anaranjado.

H. El EM•1®-activado debe utilizarse durante los 35 días siguientes después de su activación de lo contrario pierde eficacia.

I. Almacene el EM•1®-activado siempre bien tapado, en un lugar fresco, aireado y fuera del alcance de niños y de animales domésticos.

NOTA: si el olor del EM•1®-activado recuerda algo podrido y no es agríndice y agradable, o si el pH no está abajo de 4,0, entonces hubo contaminación y la solución con el producto debe ser desechado.

2.2.6 Dosificación de EM

Se usa 1 L de EM1® Activado para cada 1.000 L de agua a ser tratada.

Una vez que se alcancen los resultados esperados, hay necesidad de dar mantenimiento al sistema, en este caso, realizar aplicaciones mensuales de 1 L de EM1® Activado para cada 10.000 L de agua.

El método de aplicación, así como las dosis, pueden variar de acuerdo con las condiciones del sistema, local, y principalmente de los costos.

El concepto se basa en que, cuanto más microorganismos eficaces hay en el sistema, más eficiente y rápido será el proceso de purificación y restauración.

Al ser un proceso continuo de tratamiento se recomienda inocular a partir de la dosis mensual 1/10000 antes mencionado, dando como resultado 40 Litros de EM1® activado como arranque, posteriormente se inoculó diariamente 8 litros (EM research organization, 2013).

2.2.7 Cantidad de las muestras (4 litros cada una).

- Muestra al ingreso a la planta de tratamiento.
- Muestra a la salida del tanque sedimentador.
- Muestra salida de la planta de tratamiento (etapa de filtros).

2.2.8 Prueba estadística

Se procedió a realizar un análisis crítico de los resultados en base a gráficas para cada etapa de la planta de tratamiento en relación a TULAS. Mediante la prueba de Ji - cuadrado X^2 con un nivel de confianza del 95% de X^2 teórico de 3.841, se determinó si los datos obtenidos presentan variaciones estadísticamente significativas respecto de la hipótesis nula en los parámetros analizados (aluminio, cloruros, coliformes fecales, cromo hexavalente, DBO, DQO, fluoruros, fósforo, hierro, nitritos, nitratos, pH, sólidos sedimentables, sólidos totales, sólidos suspendidos, sulfatos, tensoactivos) y así determinar si existe diferencia entre tratamientos y sus porcentajes de reducción.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos por la innovación e implementación biológica en un proceso continuo de tratamiento, la mayoría de parámetros analizados globalmente por porcentajes muestra mejoras en el proceso de tratamiento empleado en los parámetros de aluminio, DBO, DQO, fluoruros, fósforo, hierro, nitritos, pH, sólidos sedimentables, sólidos totales, sólidos suspendidos, sulfatos y tensoactivos ó

detergentes, de estos parámetros mejorados DBO, DQO, sólidos suspendidos y tensoactivos no llegan a los límites de la norma utilizada en esta investigación como es el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS),

En cuatro parámetros no se logra mejorar el proceso de tratamiento como son cloruros, coliformes fecales, cromo hexavalente y nitratos, se considera que para estos parámetros los microorganismos eficientes (EM) empleados no son aptos para este tipo de contaminantes aun con la ayuda de una planta acuática, en el caso de los coliformes fecales al ser un proceso continuo de tratamiento los microorganismos no tienen el tiempo suficiente de interacción con el contaminante al igual que la planta acuática lechuguín.

Por medio de la prueba no paramétrica de Ji - cuadrado X^2 con un nivel de confianza del 0.05 para muestras homogéneas con los valores expresados en porcentajes para cada uno de los análisis, trece son los parámetros que muestran diferencia estadística entre tratamientos a excepción de coliformes fecales, potencial de hidrógeno y sólidos suspendidos.

4. CONCLUSIONES

Los dispositivos biológicos implementados consistieron en modificar la infraestructura del filtro de piedra descendente a un tanque mixto, aquí el agua interactuó con el lechuguín, de este tanque por medio de tubos PVC con perforaciones pasa a un filtro de piedra de forma homogénea por todo el tanque, a este filtro de piedra se le añadió arena de cuarzo, esto en conjunto ayudó al tratamiento de aguas contaminadas.

En la evaluación analítica realizada da como resultados un proceso de tratamiento continuo (ingreso permanente de agua) favorable en 13 parámetros como son aluminio, DBO, DQO, fluoruros, fósforo, hierro, nitritos, pH, sólidos

sedimentables, sólidos totales, sólidos suspendidos, sulfatos y tensoactivos o detergentes mejorados en el proceso de tratamiento.

En parámetros como cloruros, coliformes fecales, como Hexavalente y nitratos, los resultados obtenidos no fueron satisfactorios.

En coliformes fecales, la planta de tratamiento al recibir agua continuamente no tiene el tiempo de retención necesaria para su depuración, por el lechuguín al menos 30 días y por los microorganismos eficientes 15 días, la estación en todas sus etapas tiene un tiempo de retención aproximado de 65 horas.

En relación al Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS) de los parámetros mejorados que no logran estar por debajo de la norma luego del proceso de tratamiento son DBO, DQO, sólidos suspendidos y tensoactivos, pero mejoran porcentualmente en el tratamiento aplicado. En el potencial de hidrógeno (pH) la planta logra controlar el agua a un valor de 7.5 indistintamente de la carga contaminante del agua.

El olor es una característica organoléptica fácilmente receptada por los sentidos, en este caso el olfato, característica favorable que se percibió al siguiente día de la inoculación de los microorganismos eficientes (EM•1®), el control de olores fue una de las principales propiedades de este producto.

Se concluye que la innovación ejecutada en el presente trabajo de investigación puede calificarse de aceptable y que sirve como una alternativa que complementa el tratamiento habitual realizado en este tipo de plantas de tratamiento.

5. REFERENCIAS

EM Research Organization (EMRO), 2013. America Latina, Effective Microorganisms, Portal oficial de la tecnología EMTM en America Latina. México DF. Disponible en: http://www.em-la.com/medio_ambiente.php?idioma=1

Enkerlin E, Cano G, Garza R, Vogel E. 1997. Ciencia Ambiental y Desarrollo Sostenible. Primera Edición. International Thomson Editores. México. Pág. 411.

Fioravanti, M. Vega, N. 2003. Eficiencia de microorganismos eficaces (EM) en la estabilización de lodos sépticos para su reuso agrícola. Proyecto de graduación. Guácimo, Costa Rica, EARTH. 58pp.

Higa, T; Chinen, N. 1998. EM treatments of odor, waste water and environmental problems. College of Agriculture, University of Ryukyus, Okinawa, Japan.

Peña, E. Chang, J. 2007. Calidad de agua. Trabajo de investigación oxígeno disuelto. Ing. en auditoría y control de gestión. Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL). 6p. Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6162/5/Investigacion.pdf>

Rodriguez A. 2006. Tratamientos Avanzados de Aguas Residuales. Editorial Elecé. Madrid – España. Pag. 10. Disponible en:

http://www.madrimasd.org/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/vt/vt2_tratamientos_avanzados_de_aguas_residuales_industriales.pdf

Texto unificado de legislación ambiental, 2010. Tulas. Libro VI, Norma de Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes: Recurso Agua.

Tabla 1. Resumen de los parámetros físico-químicos y microbiológicos que fueron analizados.

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aluminio	Al	mg/L	5,0
Cloruros	Cl ⁻	mg/L	1000
Coliformes fecales	NMP/100 ml		8Remoción > al 99,9 %
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/L	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/L	250
Fluoruros	F	mg/L	5,0
Fósforo total	P	mg/L	10
Hierro total	Fe	mg/L	10,0
Nitritos	Expresados como nitrógeno (N)	mg/L	10,0
Nitratos			
Potencial de hidrógeno	pH		5 - 9.
Sólidos sedimentables		ml/l	1,0
Sólidos totales		mg/L	1600
Sólidos suspendidos		mg/L	100
Sulfatos	SO ₄ ⁼	mg/L	1000
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/L	0,5

⁸ Aquellos regulados con descargas de coliformes fecales menores o iguales a 3 000, quedan exentos de tratamiento.

Fuente: TULAS, 2010.

Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2012.

Tabla 2. Resultados obtenidos durante la implementación e innovación biológica

Parámetro	Unidad	TULAS	Tratamiento	Etapa		
				Entrada	Tanque de sedimentación	Salida
Aluminio	mg/L	5	Sin	0,200	0,780	0,300
			Con	0,380	0,140	0,120
Cloruros	mg/L	1000	Sin	298	362	286
			Con	102	178	178
Coliformes fecales	NMP/100ml	3000	Sin	> 2419,6	> 2419,6	> 2419,6
			Con	> 2419,6	> 2419,6	> 2419,6
Cromo hexavalente	mg/L	0,5	Sin	0,600	1,340	0,640
			Con	0,300	0,720	0,580
DBO	mg/L	100	Sin	274	323	226
			Con	213	208	126
DQO	mg/L	250	Sin	669	1014	919
			Con	359	551	330
Fluoruros	mg/L	5	Sin	38,4	25	21,6
			Con	0,2	0,10	0,0
Fosforo total	mg/L	10	Sin	34,00	29,80	26,60
			Con	17,80	15,20	4,80
Hierro total	mg/L	10	Sin	0,40	2,00	1,40
			Con	0,40	0,20	0,20
Nitritos	mg/L	10	Sin	0,300	0,380	0,340
			Con	0,240	0,180	0,180
Nitratos	mg/L	10	Sin	36	46	26
			Con	16	24	22
pH		5 - 9	Sin	9	8	7,5
			Con	8	7,5	7,5
Sólidos sedimentables	ml/L	1	Sin	4	1	0,1
			Con	3	0,2	0
Sólidos totales	mg/L	1600	Sin	302	180	118
			Con	249	153	50
Sólidos suspendidos	mg/L	100	Sin	375	359	337
			Con	564	516	383
Sulfatos	mg/L	1000	Sin	220	140	140
			Con	480	300	240
Tensoactivos	mg/L	0,5	Sin	1,7	6,76	6,64
			Con	8,2	9,64	4,44

Fuente: Laboratorio de control de calidad de aguas EMAPA-A y Texto Unificado de Legislación Ambiental y Saneamiento TULAS

Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.

Tabla 3. Comparativa entre etapas de análisis durante la implementación e innovación biológica

TABLA DE PORCENTAJES				
Parámetro	Tratamiento	Entrada / Tanque de sedimentación	Tanque de sedimentación / Salida	Global de recuperación
Aluminio	Sin	-45,31%	37,50%	-7,81%
	Con	37,50%	3,13%	40,63%
Cloruros	Sin	-6,77%	8,03%	1,26%
	Con	-16,59%	0,00%	-16,59%
Cromo hexavalente	Sin	-28,68%	27,13%	-1,55%
	Con	-26,25%	8,75%	-17,50%
DBO	Sin	-5,95%	11,79%	5,84%
	Con	0,91%	14,99%	15,90%
DQO	Sin	-13,26%	3,65%	-9,61%
	Con	-15,48%	17,82%	2,34%
Fluoruros	Sin	15,76%	4,00%	19,76%
	Con	33,33%	33,33%	66,66%
Fosforo total	Sin	4,65%	3,54%	8,19%
	Con	6,88%	27,51%	34,39%
Hierro total	Sin	-42,11%	15,79%	-26,32%
	Con	25,00%	0,00%	25,00%
Nitritos	Sin	-7,84%	3,92%	-3,92%
	Con	10,00%	0,00%	10,00%
Nitratos	Sin	-9,26%	18,52%	9,26%
	Con	-12,90%	3,23%	-9,67%
pH	Sin	4,08%	2,04%	6,12%
	Con	2,17%	0,00%	2,17%
Sólidos sedimentables	Sin	58,82%	17,65%	76,47%
	Con	87,50%	6,25%	93,75%
Sólidos totales	Sin	20,33%	10,33%	30,66%
	Con	21,24%	22,79%	44,03%
Sólidos suspendidos	Sin	1,49%	2,05%	3,54%
	Con	3,28%	9,09%	12,37%
Sulfatos	Sin	16,00%	0,00%	16,00%
	Con	17,65%	5,88%	23,53%
Tensoactivos	Sin	-33,51%	0,79%	-32,72%
	Con	-6,49%	23,34%	16,85%

Elaborado por: Paúl Veintimilla, 2013.