BIOENSAYO CON MACROFITAS ACUÁTICAS PARA EL TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS PROCEDENTES DEL RELLENO SANITARIO DE PICHACAY

Carrión, L.[1] y Cuenca, N.[1]

[1]*Empresa Municipal de Aseo de Cuenca (EMAC). Departamento Técnico*

Resumen

Los procesos de biodepuración son una alternativa que cada vez adquiere mayor importancia para el tratamiento de efluentes y lixiviados a nivel mundial. Por tal motivo se han estudiado tres especies de macrofitas acuáticas presentes en lugares próximos al Relleno Sanitario de Pichacay, con la finalidad de probar la capacidad de depuración de las plantas. Aunque las especies estudiadas no son nativas su potencial es promisorio. El trabajo se realizó con las siguientes especies: Jacinto de agua (*Eichornia crassipes*) L., Berro (*Nasturtium officinale)* L. y Elodea (*Elodea densa)* Mil. El lixiviado se colocó a diferentes concentraciones (0,5%; 1%, 2%, 5% y 10%) dentro de tanques de 27,5 galones para observar el efecto depurador de las plantas. A estas condiciones, Elodea no fue viable en la concentración del 10%, en los demás tratamientos las plantas mostraron resistencia y buen desarrollo. El agua, luego de un mes, mostró baja turbidez. Se implementaron tratamientos con el 2% de dilución de lixiviado a la tres especies para monitorear, mediante análisis de laboratorio su desempeño en cuanto a depuración durante un mes. Las muestras se analizaron a los 8, 15 y 30 días. En ellas se observa respuestas diferentes de las especies pero en general el agua bajó notablemente su contenido en DBO5 incluso a la primera semana de tratamiento, la salinidad no mejoró considerablemente. El contenido de nitrógeno total fue removido por las plantas, y en cuanto al fósforo la remoción existió no fue significativa. El pH se mantuvo neutro, con excepción de Elodea que tendió a alcalinizar el agua. En conclusión el uso de plantas macrófitas mejora las características de los lixiviados en dilución. De las especies ensayadas el Jacinto de Agua presenta mejores características como removedor, principalmente en DBO5, un grave problema para del lixiviado.

Abstract

The processes of biological purification constitute an increasingly important alternative for the treatment of sewage water and leachates on a global level. This is why three aquatic macrophytes found in the neighbourhood of the Sanitary Center of Pichacay were examined in order to investigate their capacity of purification. Though these species are not indigenous, their potential is beyond any doubt : the Waterhyacinth (*Eichornia crassipes*),L., the Watercress (*Nasturtium officinale)*,L. and Waterweed (*Elodea densa)*, Mil. The leachates were diluted in different quantities of water (0,5%; 1%, 2%, 5% and 10%) in tanks of 27.5 gallons in order to observe how the plants reacted. The reactions were encouraging. Only the Waterweed withered in a dilution of 10%. The other treatments showed resistance and the plants developed well. After a month the water was crystalline. Treatments with 2% dilution of the leachates on the three species were implemented in order to monitor through laboratory analysis its purification conduct on a monthly basis. The samples were analyzed after an 8, a 15 and a 30 days' period. The different species reacted differently but generally speaking the amount of DBO5 in the water lowered substantially even the first week of the treatment. The salinity did not improve considerably. The amount of total nitrogen was rather well disposed of by the plants. The phosphor was also disposed of but not as expected. The pH remained stable, almost neutral, with the exception of the Waterweed which showed a tendency of rendering the water alcaline. As a conclusion, the use of macrophytes improves the characteristics of leachates in dilution. Nevertheless, the Waterhyacinth is better in disposing of than the other species, especially when it comes to dispose of DBO5, which constitutes a major problem in leachates.

INTRODUCCIÓN:

1.1 Generalidades

Uno de los grandes problemas que enfrentan los centros poblados de cualquier magnitud es la producción de desechos sólidos. Estos se acumulan en rellenos sanitarios, en el mejor de los casos, o en simples botaderos. Sin embargo, los lixiviados que de ellos escurren son un gravísimo problema ambiental ya que son difíciles de tratar y llevan consigo cantidades fuertes de contaminantes por lo que no deben ser evacuados directamente al ambiente. Los lixiviados son líquidos oscuros que se producen por la descomposición de la materia orgánica y el agua que entra en el relleno por la precipitación, al fluir son arrastradas las sustancias que se encuentran presentes en los residuos, es por esto que la composición de los lixiviados varía mucho de un relleno a otro pero siempre prevalece una elevada carga orgánica (Chavarro, et al. 2006).

El tratamiento con plantas acuáticas para aguas residuales y lixiviados es un tema que cada vez está adquiriendo mayor importancia a nivel mundial, sin embargo, en el Ecuador existe poca investigación. Los ensayos sobre este tipo de tratamientos generalmente provienen de otros países, por lo que las especies que se utilizan no siempre están presentes en nuestro medio. La fitoremediación se conoce como el uso de plantas para la recuperación de ecosistemas afectados por contaminación. Es una práctica que desde las últimas décadas del siglo XX ha ganado más fuerza con el desarrollo de tecnologías apropiadas para su aplicación (Carpena y Bernal, 2007). Uno de los ejemplos clásicos es el de los sistemas naturales de acequias o canales que conducen las aguas servidas de los pueblos, en las cuales crecen de manera natural ciertas plantas que eliminan gran cantidad de los contaminantes durante el recorrido de las aguas (Fernández, J. 2006).

El Relleno Sanitario de Pichacay, manejado por la Empresa de Aseo de Cuenca (EMAC), está actualmente produciendo una cantidad de 70 metros cúbicos de lixiviados al día que deben ser bombeados y tratados en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la ciudad de Cuenca. Sin embargo, existe el interés de implementar Sistemas de Tratamiento alternativos para dichas sustancias.

1.2 Capacidad depuradora de las macrófitas acuáticas

En el presente estudio dio a conocer la capacidad de depuración de tres especies de macrofitas acuáticas presentes en nuestro medio y que se encuentran en aguas contaminadas. Estas son el Jacinto de Agua (*Eichornia crassipes*), L., el Berro (*Nasturtium officinale)*, L. y la Elodea *Egeria densa* (*Elodea densa*), Mil. Alcayaga (2005) sugiere que las plantas utilizadas para este tipo de tratamientos deberán aclimatarse por período de un mes antes de iniciar los tratamientos. Baescoechea y Fernández (2005) señalan la importancia de utilizar plantas propias de la región donde se vaya a aplicar el tratamiento.

Según los señala Horrillo (2008) en su reportaje sobre Aquaphytex, las especies reproducidas en España presentan dificultades de propagación, se han necesitado múltiples procesos de investigación (ensayo-error) para conseguir una producción intensiva de cultivo.

Desde hace mucho tiempo se conoce y se viene investigando la capacidad de las plantas para depurar medios contaminados. La mayoría de los contaminantes que son vertidos al ambiente podrían tener un mecanismo natural de depuración, el problema es que muchas veces no existe

el conocimiento necesario y otras veces la falta de decisión para emprender estas acciones. Alcayaga (2005) sugiere que el efluente tratado mediante pantanos con macrofitas podría servir sin riesgos para el riego agrícola. Con lo cual estarían solucionándose dos problemas al mismo tiempo.

Las plantas acuáticas son grandes depuradores y mejoradores de aguas, además que ellas se benefician de los elementos de las aguas negras para su desarrollo. El uso de pantanos naturales y artificiales ha ayudado en muchos lugares al tratamiento de aguas residuales, e incluso en nuestro país y nuestra región se encuentran pequeñas pruebas para la implementación de los mismos con este fin. El mantenimiento y restauración de las características químicas, físicas y biológicas del agua son de gran interés; y una de las opciones que se ha estudiado es el uso de sistemas biológicos naturales, como tratamientos en el suelo y sistemas de humedales. Se han desarrollado múltiples guías sobre diseño, desarrollo, operación y mantenimiento. (EPA, 1993). En el trabajo de Martínez.-Taberner, et al. (2007); se implementó, para el tratamiento de aguas residuales, un sistema triple de tratamiento con lagunaje, humedales construidos y los filtros verdes arbolados logrando agua regenerada y obtención de compost.

El uso de diferentes macrofitas acuáticas con características de nicho diferentes actuando en conjunto genera los resultados más óptimos. Aquí también se observa el uso de Jacintos acuáticos, de plantas sumergidas como la elodea y plantas con anclaje en el fondo como los berros o las totoras. En el estudio de Maine, et al. (2007) se transplantaron macrofitas de la zona del Río Paraná: *Eichhornia crassipes* (Jacinto de Agua), *Typha domingensis* (totora) y *Pontederia cordata* (aguapey), con las cuales se construyó un pantano para tratamiento de efluentes de metalurgia.

El Jacinto de agua ha sido muy estudiado por su capacidad depuradora y la resistencia a condiciones adversas. Se sabe que puede producir 5 kg/m^2 de biomasa semanalmente, y la remoción de un 70% de DBO, con cargas de 510 kg/ha.d, con tan solo un día de tiempo de retención (España, 2006). Sin embargo, E. crassipes contribuye a la disminución del contenido de oxígeno (Maine *et al.*, 2007), condición que debe ser mejorada con el uso posterior de otras macrofitas.

Según Fernández (2006) las macrofitas utilizadadas, en un humedal de tratamiento de una población en Murcia, lograron un porcentaje de remoción de DBO de 74,1%, 90,2% de DQO5, 37% de Nitrógeno Total y 27,1% de Fósforo Total. Además, las plantas ejercen una depuración directa por la absorción de iones contaminantes, tanto metales pesados como aniones eutrofizantes (nitratos y fosfatos principalmente). Por este motivo, este tipo de plantas acuáticas se utilizan en humedales artificiales para depuración de aguas residuales. (Fernández, 2003).

Sin embargo, aunque el proceso de absorción de muchos contaminantes es muy rápido, los metales pesados son absorbidos lentamente por los que las plantas acuáticas no son una solución a corto plazo para el problema sino más bien se debe considerar el mediano plazo. Además que la absorción dependerá de otros factores como salinidad, pH, potencial hídrico, entre otros.(Carvajal y Curutchet, 2007).

La diferencia entre unas plantas y otras se debe al múltiple efecto que estas tienen sobre el sistema, que está investigándose actualmente: concentraciones de oxígeno disuelto por transporte a través de los rizomas, absorción de contaminantes, filtración, secreción de sustancias, ralentización del flujo aumentando el tiempo de residencia, aumento de la superficie de la biopelícula, aislante térmico, etc. La suma de todos estos efectos hace que las macrofitas acuáticas eliminen mayor cantidad contaminantes (Lucas Martinez, *et al*. 2005).

Según Barbaro (2004) el Jacinto de Agua incluso puede absorber productos tan tóxicos como los fenoles, unos 30 kg fenol/día/ha. En el trabajo realizado por España (2006) se menciona al jacinto de agua como una macrofita con una capacidad enorme para depurar compuestos como la DBO (superior al 80%), nitrógeno, fósforo y algunos metales pesados. Así también en el municipio de los Llanos, República Dominicana, ha realizado dos filtros verdes para aguas residuales utilizando jacinto de agua en canales poco profundos donde los vegetales degradan, absorben y asimilan en sus tejidos los contaminantes pero al mismo tiempo posibilita el crecimiento bacteriano y se filtran los elementos sólidos en suspensión, eliminando incluso coliformes fecales (Global Nature, 2001).

López-Chuken, y Ulrico (2007) señalan en su trabajo, realizado en México, la presencia de metales pesados como efecto de la contaminación. Para eliminarlos se establecieron plantas de tratamiento mediante el uso de cultivos hidropónicos: plantas super acumuladoras, de alta generación de biomasa y árboles de rápido crecimiento y alta biomasa combustible. Baescoechea y Fernández (2005) citan que la mayor capacidad de producir biomasa influirá directamente en la capacidad de depuración, existiendo tres tipos de sistemas: los de plantas emergentes de flujo superficial (que resisten encharcamientos y el flujo de corriente es mínimo), plantas emergentes de flujo subsuperficial (usa una base de grava e incrementa la capacidad depurativa) y sistema de plantas flotantes (de menor generación de biomasa).

Anac et al. (2005) han realizado estudios con plantas halófitas para la potencial reutilización de las aguas con contenidos de salinidad elevados. Se utilizaron tres especies: verdolaga (*Portulaca oleracea*), espinaca de Nueva Zelanda (*Tetragonia tetragonoides*) y *Beta marítima*. Las especies demostraron buenos niveles de absorción, sin embargo, el trabajo no siempre puede replicarse en otros lugares ya que las condiciones del Mediterraneo son propias del sitio y las especies podrían tener problemas de adaptación.

La biomasa producida por los cultivos de macrofitas puede tener diversos usos, entre los que cabe citar la alimentación animal, la producción de compost o la producción de materias primas para diversas industrias (artesanía, construcción, mobiliario, tableros, etc), (Fernández, 2003). Incluso se puede fabricar papel con la biomasa del Jacinto de Agua (Bárbaro, 2004). Además se reporta el uso de ciertas macrofitas en la alimentación de animales de granja como cerdos, aves, peces y en ensilaje ya que su alto contenido proteínico es un valioso aporte a la dieta de los animales. Ly (1993), sugiere que las macrofitas acuáticas flotantes, y específicamente las lemnáceas, la azolla y la espinaca acuáticas son purificadoras de aguas residuales, ricas en minerales, caroteno y proteínas, así se las puede integrar en dietas animales. Sin embargo el ingreso de algunos contaminantes, principalmente metales pesados en la cadena trófica debe ser considerado con cuidado incluso por el consumo no controlado de la fauna silvestre (Carvajal y Curutchet, 2007). Se ha demostrado que dependiendo de la concentración de metales pesados en los líquidos a tratar las plantas acuáticas pueden acumular en sus tejidos mayor o menor concentración de los mismos, lo cual dificulta el destino final que se dará a la biomasa una vez que ha finalizado el tratamiento. Lo mejor que se puede realizar una vez concluido el ciclo vegetativo de las plantas depuradoras el cortarlas e incinerarlas, llevando las cenizas a vertederos de seguridad (Benítez, 2007).

Sin embargo, como sugiere Martínez.-Taberner, et al. (2007) el sistema puede integrara el paisajismo y creando áreas turísticas naturales que cumplen con un doble propósito. Los municipios, parques tecnológicos e industriales pequeños pueden acceder a los sistemas naturales por sus pequeños caudales que no ameritan el costo de una planta de tratamiento convencional.

1.3 Principio del tratamiento de aguas residuales con plantas bioacumuladoras:

El funcionamiento técnico del sistema consiste en crear una alfombra flotante de plantas, en la cual el oxígeno es bombeado directamente del aire a través de sus hojas hasta el sistema radicular gracias a la fisiología de tipo alveolar de la estructura orgánica de todo su conjunto. Esta alfombra flotante actúa como una membrana que inyecta el O_2 directamente a la raíz únicamente por diferencia de presión isostática de oxígeno entre el aire y las raíces, incluso invernalmente con las hojas secas en parada vegetativa. Los filtros con macrofitas llevan oxígeno al sistema radicular de las plantas lo cual crea una abundante flora microbiana aeróbica que degrada la materia orgánica con una sencilla ecuación:

$$C + \text{Microorganismos} + O_2 = CO_2$$

Así la materia orgánica se degrada sin provocar olores ni fangos. Minerales y hasta metales pesados son fijados en las plantas, los nitratos y fosfatos son absorbidos directamente constituyéndose en verdaderos fertilizantes; incluso los microorganismos patógenos son eliminados por la presencia de protozoos y bacteriófagos. Los coloides también son atraídos a las raíces a causa de la diferencia de las cargas eléctricas (Moreno, 2008).

El uso de tratamientos con plantas acuáticas además del ahorro económico en instalaciones y mantenimiento, es amigable con el entorno y no requiere de mano de obra especializada para su funcionamiento (Maine *et al.*, 2007). Los costos son más económicos ya que el tratamiento natural no requiere de tantos aditivos químicos. Presentan bajos índices de coliformes, no es necesario clorinizar. Se observa una disminución bastante alta del contenido de fósforo y nitrógeno amoniacal y sulfuro (sobre un 90%). La mayor parte de DBO y TSS se eliminan por sedimentación y acción microorgánica (EPA, 1993).

1.4 Principios del diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales:

En la EPA (1993) se sugiere que el uso de macrofitas acuáticas requiere de grandes superficies de terreno para implementar las Plantas de Tratamiento que provean un tiempo de retención de 6 semanas. Hay diseños que realizan 2 lagunas de estabilización en la parte superior y 2 pantanos en la parte inferior como totalidad del proceso, permitiendo que sean colonizadas por la vegetación que voluntariamente llegara (4ha). Sin embargo, los diseños en serpentina permiten un mayor contacto del flujo de agua con la vegetación. Las lagunas de depuración con macrofitas son lagunas construidas a cierta escala necesaria para el tratamiento de un determinado afluente, la elección de las plantas y las dimensiones de la laguna dependerán las características del líquido a tratar y del clima (Hazelip, 2008).

En la experiencia realizada para el tratamiento de contaminantes provenientes de metalurgia Maine *et al.*(2007) realizaron pantanos artificiales con las siguientes características: Las dimensiones del mismo fueron de 50 m de largo por 40 m de ancho y profundidad de 80 cm, con un tabique central de manera que la relación largo-ancho sea 5:1. Se impermeabilizó con bentonita, y las plantas se arraigan sobre una capa de 1 m de suelo.

En el futuro procuraremos implementar un pantano artificial utilizando las diferentes propiedades en depuración que se han observado en el presente estudio.

2. METODOLOGÍA:

2.1 Localización del Ensayo:

El presente estudio se realizó en los predios pertenecientes a la EMAC (Empresa Municipal de Aseo de Cuenca); ubicados en el sector de Pichacay de la Parroquia Santa Ana.

Según Holdridge esta área pertenece a la zona de vida Bosque Seco Montano Bajo (bs MB); caracterizada por bajas precipitaciones (media 650 mm), temperatura media 15^0 C ; y altitud de 2650 msnm.

El trabajo se realizó entre los meses de marzo a junio del 2008 razón por la cual la elevada pluviosidad mantenía elevada la humedad ambiental y la evapotranspiración fue baja, así como la evaporación del agua usada en los tratamientos.

Las unidades experimentales las constituyeron tanques metálicos de 55 galones divididos longitudinalmente, con lo cual la capacidad máxima es de 27,5 galones.

Estas unidades se colocaron en un espacio techado con plástico de invernadero de una superficie total de 14 x 8 metros (112 m^2). Con la cubierta evitamos que las condiciones climáticas interfieran en el estudio y con la trasparencia del plástico se permite a las plantas el normal desempeño fisiológico.

2.2 Especies Empleadas en el Estudio

Las especies utilizadas en el trabajo fueron tres macrófitas acuáticas con capacidad de biodepuración de agua, Jacinto de Agua (*Eichornia crassipes*) L., Berro (*Nasturtium officinale)* L. y Elodea (*Elodea densa*) Mil.

- El Jacinto de Agua (*Eichornia crassipes*), L. fue colectado del sector de La Josefina.

- El Berro (*Nasturtium officinale)*, L. fue tomado del sector de Yanaturo de la parte posterior del Vivero de la EMAC.

- La Elodea (*Elodea densa*), Mil. se extrajo del estanque ubicado en el parque Quetzal en el sector del Arenal.

Estas especies fueron llevadas y sembradas en las unidades experimentales tres semanas antes de adicionar el lixiviado en agua para que tengan un tiempo de adaptación.

2.3 Fases de la Investigación:

Para conocer la respuesta de las especies de macrofitas a la presencia de lixiviados se dividió el trabajo en dos fases:

Fase a) Respuesta de las especies a diferentes concentraciones de lixiviados disueltas en el agua.

Similar al trabajo realizado por Pettri (2005) se colocaron diferentes concentraciones de lixiviado para determinar la tolerancia de las especies y la respuesta de las mismas a la solución.

Cada especie se sometió a un gradiente de concentraciones de lixiviado:

Testigo (0%)
T1 0,5 %
T2 2%
T3 5%
T4 10%

La dilución se efectuó en 60 litros de agua, colocando 0; 0,6; 1,2; 3 y 6 litros de lixiviado, respectivamente.

Se realizaron tres repeticiones por cada tratamiento. El total de unidades experimentales fue de 45. En el anexo fotográfico se puede apreciar el local del trabajo y la disposición de las unidades experimentales.

Fase b) Remoción de contaminantes presentes en el lixiviado disuelto en las unidades experimentales.

Esta fase del trabajo contó con doce unidades experimentales en las que se colocó una concentración de lixiviado del 2% del agua, debido al adecuado desarrollo de todas las especies

en esta concentración registrado en la **fase a**. En cada tanque se colocaron 60 litros de agua y 1,2 litros de lixiviado.

El mismo lixiviado que se colocó en los tanques se llevó al laboratorio para conocer la carga exacta de contaminantes aportados en las diferentes especies.

Por cada especie se realizaron cuatro repeticiones teniendo un total de 12 unidades experimentales, las mismas que fueron colocadas al azar dentro de un espacio 12 m^2.

Las muestras para los análisis se realizaron durante un mes (a los 8, 15 y 30 días) para conocer la capacidad de depuración de las diferentes especies y la respuesta con el transcurrir del tiempo.

El agua de cada unidad experimental se analizó individualmente en el laboratorio de ETAPA (Empresa Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable y Alcantarillado) ubicados en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Ciudad de Cuenca.

Para la comparación estadística de los resultados obtenidos por las tres especies se utilizaron los análisis realizados a los 30 días del tratamiento y se sometieron al análisis estadístico mediante la prueba de Scheffe.

3. RESULTADOS

3.1 Evaluación del crecimiento de macrofitas a diferentes concentraciones de lixiviado

En la Primera Etapa del trabajo se aplicaron concentraciones de lixiviado diferentes dentro de la unidades experimentales. Luego de un mes de la aplicación se procedió a evaluar las plantas de las diferentes especies y en las distintas concentraciones de lixiviado. Lo que se observó y evaluó cualitativamente obteniéndose la siguiente información, que se respalda mediante fotografías

Al tomar las muestras de los diferentes tanques se establecieron los promedios de desarrollo de las diferentes especies en las distintas concentraciones de lixiviado aplicadas en cada tanque; así se describen para cada una de las especies:

ESPECIE No. 1: JACINTO DE AGUA

Foto 4: Plantas de Jacinto de Agua representativas de los distintos tratamientos. De derecha a izquierda se presentan en el orden del Cuadro 1 (testigo; 0,5%; 2%; 5% y 10%).

Cuadro 1: Desarrollo del Jacinto de Agua en diferentes concentraciones de lixiviado

TRATAMIENTOS	DESARROLLO FOLIAR	DESARROLLO RADICULAR
Testigo	Plantas madres con 3 hijuelos Hojas bastantes bajas no muy verdes	Raíces color negro-lila 25 cm de largo
0,50%	Plantas madres con 3 hijuelos Hojas bastantes bajas no muy verdes.	Raíces color negro-lila 40 cm de largo
2%	**Plantas madres con 4 hijuelos. Hojas largas no muy verdes.**	**Raíces largas y frondosas de coloración marrón de 60 cm de largo.**
5%	Plantas madres con 4 hijuelos. Hojas largas verdes intensas.	Raíces largas y frondosas de coloración marrón de 45 cm de largo.
10%	Plantas madres con muchos hijuelos (hasta 10). Mayor cantidad de hojas màs bajas y verdes intensas.	Raíces largas y frondosas de coloración negra de 50 cm de largo.

ESPECIE No. 2 : BERRO

Foto 5: Plantas de Berro representativas de los distintos tratamientos. De derecha a izquierda se presentan en el orden del Cuadro 1 (testigo; 0,5%; 2%; 5% y 10%).

Cuadro 2: Desarrollo del Berro en distintas concentraciones de lixiviado

TRATAMIENTOS	DESARROLLO FOLIAR	DESARROLLO RADICULAR
Testigo	Area foliar pequeña, con baja densidad de follaje de coloración amarilla-morada de 10 cm de tallo.	Mucho desarrollo radicular en largo y densidad de 16 cm de largo.
0,50%	Area foliar pequeña, con baja densidad de follaje de coloración amarilla-algo morada de 12 cm de tallo	Mucho desarrollo radicular en largo y densidad de 15 - 20 cm de largo
2%	**Tallos largos, follaje verde no muy denso 32 cm de largo**	**Gran densidad de raíces 20 cm de largo.**
5%	Follaje verde bastante denso de 25 cm de largo	Desarrollo no muy denso de 15 cm de largo.
10%	Tallos normales, follaje verde denso de 20 cm de largo.	Desarrollo no muy denso de 17cm de largo.

ESPECIE No. 3 : ELODEA

Foto 6: Plantas de Elodea representativas de los distintos tratamientos. De derecha a izquierda se presentan en el orden del Cuadro 1 (testigo; 0,5%; 2%; 5% y 10%).

Cuadro 3: Desarrollo de Elodea en distintas concentraciones de lixiviado

TRATAMIENTOS	DESARROLLO FOLIAR	DESARROLLO RADICULAR
Testigo	Buenas condiciones y coloración verde intenso 30 cm de largo.	Raíces grandes pero de aspecto viejo, posible carencia de alimento 15 cm de largo.
0,50%	**Buenas condiciones y coloración verde intenso 45 cm de largo**	**Raíces jóvenes de buen desarrollo 20 cm de largo.**
2%	Follaje más denso y mayor cantidad en buenas condiciones 60 cm de largo	Raíces jóvenes de buen desarrollo 11 cm de largo
5%	Aspecto quemado	No hay presencia de raíces
10%	Totalmente quemado, necrosado	No hay presencia de raíces

3.2 RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE LABORATORIO SOBRE LA DEPURACIÓN DEL LIXIVIADO EN DILUSIÓN DEL 2%.

Para determinar la capacidad depurativa de las diferentes especies de macrofitas acuáticas estudiadas se realizó una disolución del 2% ya que en el análisis cualitativo se observaron los mejores resultados de desarrollo y tolerancia al lixiviado en este tratamiento. Para iniciar el trabajo se analizó el lixiviado que fue colocado en disolución en los tanques de tratamiento. A

partir del análisis se calcularon los valores de los compuestos en la disolución, como se observa a continuación:

Cuadro 4: Determinación de los distintos parámetros presentes en el lixiviado analizado y el cálculo de los valores en disolución

Análisis del lixiviado de partida			
	Unidades	**Análisis**	**Disolución**
DBO5	mg/l	9400	188
NKT	mg/l	1629,93	32,59
Fósforo total	mg/l	34,88	0,69
Conductividad	uS/cm	20400	408
Plomo Inicial	ug/l	128,7	2,570
Cadmio Inicial	ug/l	9,9	0,198
pH		7,66	7,66

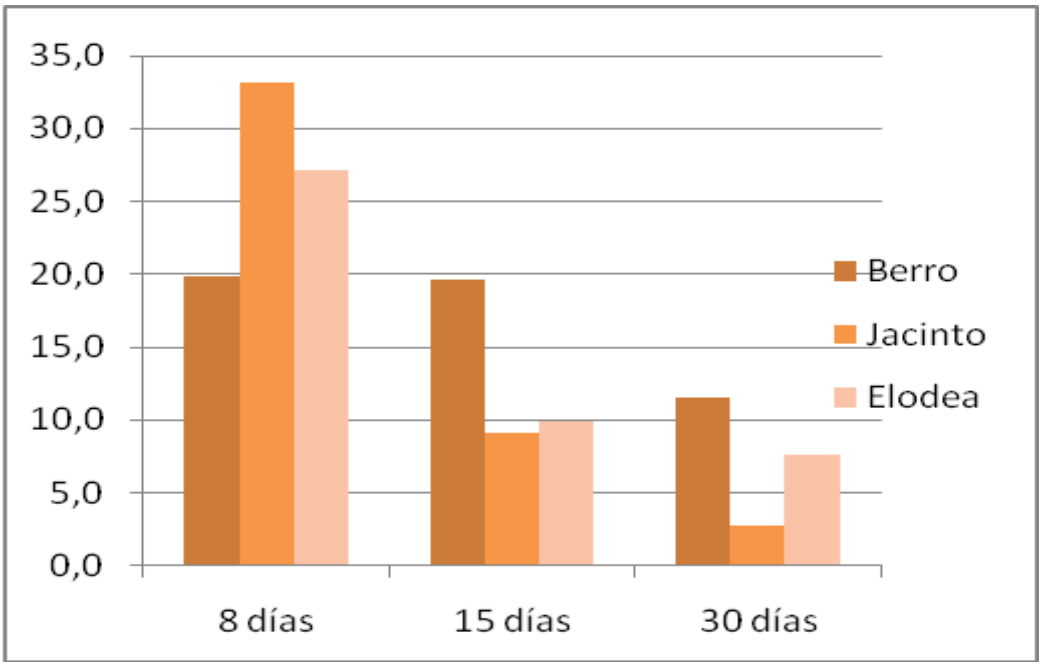
Resultados de la depuración en DBO5 por las especies estudiadas

De acuerdo a lo expuesto en el cuadro anterior, se considera el valor de la Demanda Bioquímica de Oxígeno de partida de 188 mg/l, y así se pueden observar el trabajo depurador de las diferentes especies.

Cuadro 5: Valor analizado y Porcentaje promedio de DBO5 presente en los tratamientos a los 8, 15 y 30 días.

DBO5 (mg/l)						
	8 días	**% 8 días**	**15 días**	**% 15 días**	**30 días**	**%30 días**
Berro	37,25	19,8	37	19,7	21,75	11,6
Jacinto	62,25	33,1	17,25	9,2	5,25	2,8
Elodea	51	27,1	18,75	10,0	14,25	7,6

Gráfico 1: Porcentaje de DBO5 no removido en los tratamientos al transcurrir treinta días.



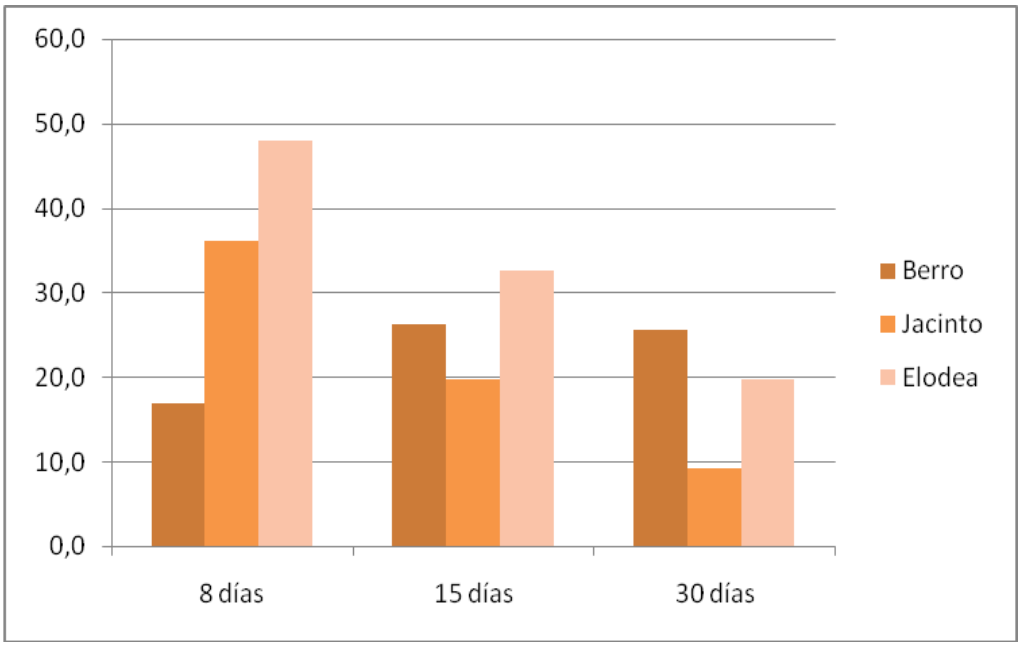
Resultados de la depuración del Nitrógeno por las especies estudiadas

De acuerdo a lo expuesto en el Cuadro 4, se considera el valor de Nitrógeno de partida de 32,59 mg/l, y se observa en el Cuadro 6 la capacidad de depuración de las tres especies estudiadas.

Cuadro 6: Valor analizado y Porcentaje promedio de Nitrógeno presente en los tratamientos a los 8, 15 y 30 días.

NKT (mg/l)						
	8 días	**% 8 días**	**15 días**	**% 15 días**	**30 días**	**%30 días**
Jacinto	11,8	36,1	6,4	19,8	3,0	9,2
Berro	5,5	17,0	8,5	26,2	8,3	25,6
Elodea	15,61	47,9	10,64	32,6	6,44	19,8

Gráfico 2: Porcentaje de Nitrógeno no removido en los tratamientos al transcurrir treinta días.



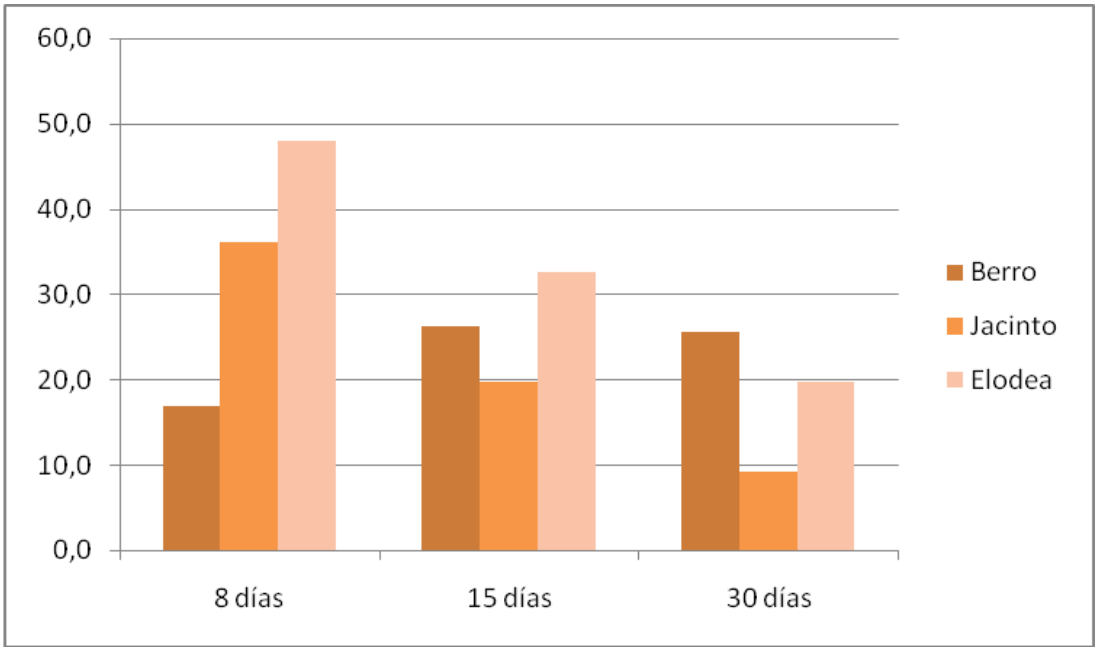
Resultados de la depuración del Fósforo por las especies estudiadas

De acuerdo a lo expuesto en el Cuadro 4, se considera el valor de Fósforo de partida de 0,69 mg/l y así se observa la acción depuradora en al Cuadro 7 según las distintas especies.

Cuadro 7: Valor analizado y Porcentaje promedio de Fósforo presente en los tratamientos a los 8, 15 y 30 días.

FOSFORO TOTAL (mg/l)						
	8 días	**% 8 días**	**15 días**	**% 15 días**	**30 días**	**%30 días**
Berro	0,5075	73,6	0,6425	93,1	0,735	106,5
Jacinto	0,35	50,7	0,455	65,9	0,24	34,8
Elodea	0,445	64,5	0,415	60,1	0,36	52,2

Gráfico 3: Porcentaje de Fósforo no removido en los tratamientos al transcurrir treinta días.



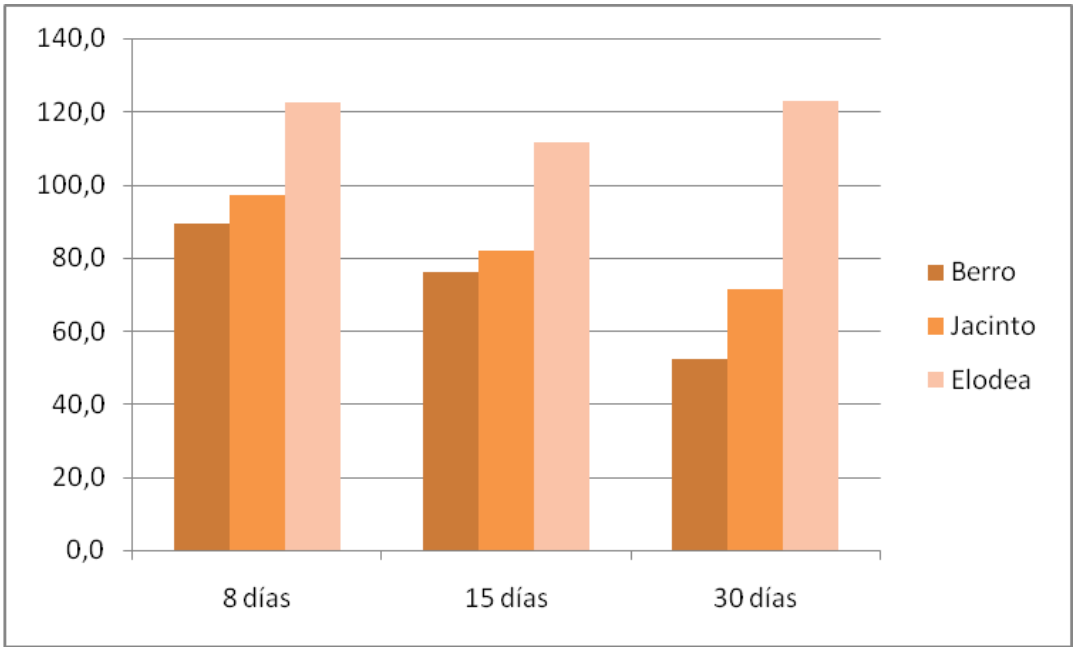
Resultados de un cambio en la conductividad con la acción de la macrofitas acuáticas.

De acuerdo a lo expuesto en el Cuadro 4, se considera el valor de Conductividad de partida de 408 uS/cm y así se observa la acción de las macrofitas en el Cuadro 8.

Cuadro 8: Valor analizado y Porcentaje promedio de la variación de la conductividad en los tratamientos a los 8, 15 y 30 días.

CONDUCTIVIDAD (uS/cm)						
	8 días	**% 8 días**	**15 días**	**% 15 días**	**30 días**	**%30 días**
Berro	364,5	89,3	311	76,2	213,75	52,4
Jacinto	396,5	97,2	334	81,9	291,25	71,4
Elodea	500	122,5	455,5	111,6	500,5	122,7

Gráfico 4: Variación porcentual de la Conductividad al someterse la disolución de lixiviado al tratamiento con las tres especies de macrofitas acuáticas.



Cambios en el pH de los tratamientos de lixiviado con las tres especies de macrofitas acuáticas en estudio.

En el Cuadro 9 se presentan los valores de pH obtenidos en los análisis de la disolución de lixiviado sometidas a la acción depuradora de las macrofitas acuáticas.

Cuadro 9: Valores de pH obtenidos para los tratamientos con las tres especies de macrofitas acuáticas a los 8, 15 y 30 días.

Ph			
	8 días	**15 días**	**30 días**
Berro R1	6,69	6,54	6,76
Berro R2	6,48	6,69	6,7
Berro R3	6,61	6,88	6,81
Berro R4	6,59	6,99	6,89
Jacinto R1	7,11	6,81	7,2
Jacinto R2	6,47	6,25	5,94
Jacinto R3	6,64	6,89	6,85
Jacinto R4	6,3	6,44	6,08
Elodea R1	7,35	7,27	9,06
Elodea R2	7,4	7,36	9,19
Elodea R3	7,51	8,06	9,04
Elodea R4	7,46	7,83	9,02

Metales Pesados: De acuerdo a los monitoreos del Relleno Sanitario de Pichacay se consideró importante un análisis de Cadmio y Plomo, ya que son los elementos más preocupantes presentes en los lixiviados. Los análisis se los realizó en el laboratorio acreditado de ETAPA, en la Unidad de Gestión Ambiental de Ucubamba. Se observarvan en el Cuadro 10 que los valores iniciales son más bajos que luego de la acción de las macrófitas obtenidos a los 30 días, presentados en el Cuadro 11; por lo tanto los resultados no son concluyentes. Se deberá prestar atención, en este sentido, no sólo a los metales pesados de los tratamientos estudiados sino también a los tejidos vegetales de las plantas ya que este sería otro indicador de la capacidad de absorción de dichas sustancias, comparándolas con un testigo.

Cuadro 10: Valores de Cadmio y Plomo analizados en el lixiviado de partida y los valores al realizar la disolución

Valores de partida	Unidad	Análisis	Dilusión
Plomo Inicial	ug/l	128,7	2,570
Cadmio Inicial	ug/l	9,9	0,198

Cuadro 11: Valores de Cadmio y Plomo analizados en las muestres tomadas a los 30 días de tratamiento con macrófitas acuáticas.

Cadmio 30 días		Plomo 30 días	
Berro	3,4	Berro	23,225
Jacinto	2,775	Jacinto	12,3
Elodea	3,325	Elodea	17,725

3.3 Resultados estadísticos obtenidos mediante la prueba de Scheffe comparando el potencial depurador de las especies utilizadas con el análisis realizado a los 30 días de tratamiento

Cuadro 12: Resultados estadísticos con DBO_5

DBO5			F(2,9)=6,06 ; p<0,0215
ESPECIES	**Berro**	**Jacinto**	**Elodea**
Berro		0,0215	0,2611
Jacinto	0,0215		0,2809
Elodea	0,2611	0,2809	

Cuadro 13: Resultados estadísticos con Nitrógeno Total

Nitrógeno Total			F(2,9)=4,89 ; p<0,0366
ESPECIES	**Berro**	**Jacinto**	**Elodea**
Berro		0,039	0,5694
Jacinto	0,039		0,1943
Elodea	0,5694	0,1943	

Cuadro 14: Resultados estadísticos con Fósforo Total

Fósforo Total			F(2,9)=5,06 ; p<0,0337
ESPECIES	**Berro**	**Jacinto**	**Elodea**
Berro		0,041	0,1231
Jacinto	0,041		0,7671
Elodea	0,1231	0,7671	

Cuadro 15: Resultados estadísticos con la Variación de la Conductividad

Variación de Conductividad			F(2,9)=9,65 ; p<0,0058
ESPECIES	**Berro**	**Jacinto**	**Elodea**
Berro		0,5405	0,0071
Jacinto	0,5405		0,0381
Elodea	0,0071	0,0381	

DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN:

De acuerdo a lo que se puede observar en la primera fase del estudio, las especies colocadas en el agua necesitan la presencia de cierto nivel de compuestos orgánicos para su desarrollo y supervivencia ya que en ausencia de los mismos, luego de haber depurado el agua, se inicia un período de deterioro vegetal con evidente falta de nutrientes, mientras que en la etapa inicial de tratamiento, con diluciones apropiadas del lixiviado las plantas desarrollaron de buena manera, sin que se manifiesten alteraciones por la presencia de metales pesados o cualquier otro compuesto presente en el lixiviado. El principio importante que se demuestra dentro de nuestro estudio es que un uso adecuado del lixiviado sirve como fertilizante para las macrofitas acuáticas, al inicio del tratamiento el desarrollo vegetativo y la floración de las especies fue evidente.

Al depurarse el agua, el Berro perdió mucho follaje y emitió raíces en toda la superficie del tallo tratando de alcanzar lugares donde obtener nutrientes. El Jacinto de Agua, que inicialmente florecía y agrandaba sus tejidos vegetales secaba las hojas inferiores y se reducía agrandando su sistema radicular. La Elodea tenía un buen desarrollo en condiciones de dilución bajas, sin embargo soportaba bien el agua purificada aunque su desarrollo era menor.

Aunque la DBO_5 (Demanda bioquímica de Oxígeno) y ciertos compuestos presentes en los lixiviados son altamente contaminantes y provocan daños y muerte en los tejidos vegetales, en concentraciones bajas, demuestran ser benéficos. El desarrollo de las partes vegetativas de las especies utilizadas para los tratamientos presentó algunas diferencias de acuerdo a la variación en la disolución como se observa en los cuadros 1, 2 y 3, que reflejan la resistencia de las especies a distintas concentraciones de lixiviado y su respuesta.

Existen especies muy resistentes a las concentraciones elevadas de lixiviado como son el Jacinto de Agua, seguido por el Berro (Cuadros 1 y 2). Sin embargo, Elodea no se considera como una planta óptima para usar en concentraciones elevadas de lixiviado, pero al final de un sistema de tratamiento demuestra buenas aptitudes como purificador del agua y para filtrar partículas sedimentables.

Aunque la EPA (1993) sugiere un tiempo de retención del líquido a depurar de 6 semanas se pudo observar que en tan solo 4 semanas el agua que se encontraba en los tanques ya no presentaba sedimentos y en las plantas existían síntomas de falta de nutrientes por el grado de purificación en el que se encontraba el agua. Incluso a los 8 días ya existía la presencia de renacuajos en muchos de los tanques.

El Jacinto de agua se reporta como una planta que no favorece la introducción de aire en el agua, por tanto los procesos ocurren con poco oxígeno y no son favorables para eliminar del agua fosfatos y amonio. (Maine *et al.*, 2007). Sin embargo, entre las especies utilizadas es el Jacinto el que más fósforo y nitrógeno remueve, así como DBO_5 (cuadros 5, 6 y 7). Por lo tanto, esta especie debe iniciar el tratamiento del agua, luego se puede continuar con especies como el berro, elodea o diferentes juncos que favorecen la introducción de aire en el agua con lo cual se recupera la oxigenación.

En el caso de Elodea, en concentraciones bajas de lixiviado, se observa una relación entre la concentración y el desarrollo vegetal (hasta la disolución de 2%). Sin embargo, en los tratamientos de un 5% y 10% Elodea presenta un aspecto necrosado (cuadro 3). Además en aguas con problemas de acidez podría utilizarse la acción alcalinizadora de la Elodea como mejorador de pH, por lo que debe considerarse su uso y evaluar los resultados (cuadro 9).

Al observar los resultados de laboratorio podemos constatar la enorme capacidad de depuración de las plantas acuáticas principalmente en el contenido de DBO5, uno de los mayores contaminantes del lixiviado, llegando en la primera semana a menos de 35% de la aplicación inicial y en un mes las cantidades son inferiores al 12% del contenido inicial (cuadro 5). Así también de la remoción del Nitrógeno que llegó a menos de un 30% de lo aplicado al comenzar el tratamiento (cuadro 6). Resultados muy semejantes a los sugeridos por Fernández (2006) en su estudio realizado en España. El Jacinto de Agua presenta los mejores resultados de remoción en estos dos contaminantes. En cuanto al contenido de sales el berro mejoró hasta en un 50% el líquido tratado mientras que Elodea no demostró acción alguna (cuadro 8). Mientras que en el fósforo el mejor depurador fue el Jacinto (presencia de un 35% de contenido inicial) y el Berro no lo absorbió en absoluto (cuadro 7).

El trabajo realizado por Pettri (2005) demuestra el potencial de las macrofitas acuáticas para la remoción de metales pesados, sobre todo por el interés en los residuos de la industria metalúrgica. Sin embargo, los análisis de laboratorio realizados no permitieron constatar dichos resultados en nuestro trabajo ya que por algún error se reporta un incremento en cuanto a la presencia de metales pesados, lo cual es imposible ya que no existen fuentes de contaminación que pudieran incidir sobre los tratamientos incluso observando los análisis del agua del río, usada para preparar la disolución los resultados sugieren un error (cuadros 10 y 11). Sería importante, en cuanto a metales pesados un análisis del tejido vegetal de las macrófitas que permita saber su capacidad de absorción, incluso diferenciando las partes de las plantas donde se acumulan estas sustancias.

Estadísticamente se observan pocas diferencias significativas entre las especies en cuanto a la capacidad de depurar las diferentes sustancias presentes en el lixiviado, sin embargo, para determinados compuestos hay plantas con mejores características. La mejor dentro del estudio es el Jacinto de Agua, con lo cual se puede utilizar como una de las especies más importantes como biodepuradores. Es por esta razón que *Eichhornia crassipes*, L. es muy utilizado dentro de filtros verdes para la depuración de aguas residuales, industriales e incluso lixiviados.

Se puede apreciar en el análisis estadístico que existe diferencia significativa entre las especies, en cuanto a la remoción de sales ya que el Berro ha bajado más la conductividad; la DBO_5 fue altamente absorbida por el Jacinto superando a las otras especies. La remoción del fósforo y nitrógeno no se presenta diferencia estadística significativa.

La propuesta para la utilización de diferentes especies vegetales sugiere un sistema de pantano en el cual se optimicen los diferentes potenciales de las especies de forma sinérgica. Para el campo de la aplicabilidad sugerimos utilizar inicialmente un filtro de Jacinto de agua, seguido de Berro y finalizando con Elodea. Igual que sugiere Pettri (2005) al colocar los pantanos se deberá impermeabilizar el terreno a que no existan filtraciones que puedan comprometer la calidad ambiental. Además se debe considerar que aunque los tratamientos con humedales requieren entre 20 a 80 veces el área necesaria para un tratamiento tradicional, éstos tienen un enorme potencial para restaurar ecosistemas lo cual genera un valor agregado importantísimo (García, Marató y Bayona, 2005). Esto sin contar con el menor costo de implementación y funcionamiento.

Además el uso de macrofitas favorece a un sistema natural que utiliza tan solo energía solar, favoreciendo a la depuración de efluentes o lixiviado sin emanar malos olores y eliminando patógenos. Los minerales obtenidos por la digestión de la materia orgánica sirven como fertilizante para las plantas que desarrollan rápidamente y deben ser cosechadas con regularidad, cuando la entrada de agua y lixiviado es constante, porque en nuestro caso al no continuar el aporte de contaminantes las especies usadas mostraban signos de falta de nutrientes y literalmente morían de forma paulatina.

En los humedales la capacidad depuradora de las plantas consigue obtener una remoción casi total de los contaminantes de una manera sostenible y ecológica. Además que no se producen

fangos, ni malos olores y el sistema de depuración es permanente y constante durante todo el año (Velasco, 2007). Sin embargo, en nuestro medio no existe un estudio con las especies nativas, el presente trabajo también solo ha considerado tres especies introducidas, aunque con un buen potencial para su utilización. Hemos considerado la acción de los humedales ya que se podría trabajar con un número mayor de especies que al juntar sus propiedades darán como resultado una mejor depuración con un efluente del sistema de buenas características.

Además Hazelip (2008) sugiere que las macrofitas que se generan son biomasa, que no solo pueden ser usadas como forraje, sino también como material para cestería, paja para tejados, mulching, y materiales artesanales. Estudiando la composición de sus tejidos incluso se podría involucrar dentro de los biocombustibles que actualmente están adquiriendo importancia aunque se debe considerar, sobre todo, los metales pesados que se bioacumulan en las plantas. Hemos observado el gran desarrollo especialmente del Berro y el Jacinto de Agua, sin embargo el uso de este material como forraje no podría garantizarse por el contenido de metales pesados que pueden estar presentes en sus tejidos, aunque el uso como material artesanal no sería descartable en bajo esta consideración. Aunque un análisis en cuanto a las propiedad dañinas alimenticiamente del berro sería conveniente por su enorme potencial como forraje, ya que desconocemos si existe o no capacidad de absorción de metales pesados.

AGRADECIMIENTO:

A la Empresa Municipal de Aseo de Cuenca (EMAC), con apoyo técnico y financiero; y al Departamento de Áreas Verdes por el apoyo logístico.

Al Laboratorio de la Unidad de Gestión Ambiental de la ETAPA

A la Universidad del Azuay con su Departamento de Educación Continua

Dra. Rafaella Ansaloni, Directora de Tesis

_____ _____

Ing. Numan Cuenca L. Blga. Ligia Carrión C.

BIBLIOGRAFÍA:

Alcayata, D. 2005. Construcción, puesta en marcha y operación de un humedal para el tratamiento de residuos líquidos de un vertedero. Propuestas de la Expotec, 2005. (Ideas Jóvenes para el Medio Ambiente). Universidad Técnica Federico Santa María. Viña del Mar. En línea: http://www.jmc.utfsm.cl/contenidos/jmc_sede/sede_noticias/noticias_anterior.php?cod_noticia=99

Anac, S.; Y. Kukuli y D. Anac. 2005. Salt removing crops as a phytoremediation technique. Internacional meeting on phytodepuration. Lorca-España. 173-178 pp.

Arquier, M. Tratamiento de lodos fecales mediante wetlands artificiales. Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación desarrollo y práctica. Edición: V. 1,2. 2007. Brasil. En línea: http://metrik.cl/aidis/index.php?s=macr%C3%B3fitas

Baescoechea E. y J. Fernández. 2005. La depuración de aguas mediante filtros verdes en medio rural: el problema de las aguas residuales. Reportaje Ambienta. 55-57 pp.

Barbaro, G. 2004. Fitodepuración: una técnica sencilla y natural para depurar aguas residuales. Arquitectura del Paisaje. Construcción y medio ambiente. No. 154. Pp. 20-25.

Benítez, I.L. 2007. Evaluación de la distribución de metales pesados en plantas acuáticas, Jacinto de agua (Eichordia crassipes) y Tul (Thypa sp.) utilizadas en la planta de tratamiento de aguas residuales La Cerra Villa Canales, por medio de la fluorecencia de rayos X. Universidad de San Carlos de Guatemala. 104 pp.

Carpena, R. O. y M. P. Bernal. 2007. Claves de la fitorremediación: fitotecnologías para la recuperación de suelos. *Ecosistemas* 16 (2): 1-3

Carvajal, M.L. y G. Curutchet. 2007. Miniproyectos de investigación en la enseñanza curricular de biotecnología ambiental. Jornada "La problemática de medio ambiente en la zona sur y sus posibles soluciones. Universidad Nacional de Quilmes. Buenos Aires – Argentina. En línea: . http://www.unq.edu.ar/servlet/ShowAttach?idAttach=14636

Chavarro, M.; J. Garces, J. Guerrero y D. Salas. 2006. Evaluación de la tratabilidad de los lixiviados en el relleno sanitario de Pereira mediante filtros anaerobios de flujo ascendente a escala piloto. Scientia et Technica Año XII, No 30, Mayo de 2006 UTP. ISSN 0122-1701

EPA (Environmental Protection Agency), Septiembre de 1993. EE.UU. PANTANOS COSNTRUIDOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Y HÁBITAT DE VIDA SILVESTRES

España Obando J. 2006. Estanques de jacinto de agua (*Eichhornia crassipes)* para el tratamiento de residuos industriales. Universidad del Valle. Santiago de Cali. En línea: http://www.monografias.com/trabajos37/estanques-de-jacinto/estanques-de-jacinto.shtml. Centro de tesis © 1997 Monografias.com S.A.

Fernández, J. 2003. Agua y agricultura sostenible: La fitodepuración, otra faceta de la agricultura sostenible. Jornada sobre agua y desarrollo sostenible (12-12-2003).Fundación Iberdrola. En línea: http://www.iberdrola.es/fundiber/j_fernandez(2)_12_12_03.htm

Fernández, J. 2006. La fitodepuración mediante humedales artificiales. Fundación Madrid para el Conocimiento.

Fernández Muerza, A. 2006. Fitodepuración: Plantas acuáticas para limpiar residuos. Fundación Eroski. En línea: http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/energia_y_ciencia/2006/09/29/155999.php

García, J.; J. Morató y J. Bayona. Depuración son sistemas naturales: humedales construidos. Universidad Politécnica de Catalunya. España.

Global Nature, Fundación. 2001. Proyecto de saneamiento de aguas residuales mediante filtros verdes en San José de los Llanos (República Dominicana). España. En línea: www.fundacionglobalnature.org/

Hazelip, E. 2008. Depuración natural de Aguas Residuales. Fundación Terra. En línea: http://www.terra.org/html/s/rehabilitar/bioconstruccion/criterios/depuracion_agua.html

Horrillo, F. 2008. Un joven extremeño tiene la única empresa de España que produce plantas para depurar agua. HOY.es. Ediciones digitales HOY. Madrid. En línea: http://www.hoy.es/pg060206/prensa/noticias/Regional/200602/06/HOY-LOC-000.html

López-Chuken, U.J. y J. Ulrico. 2007 Diseño y construcción de un sistema de hidroponía de flujo continuo para estudios de fitoextracción. Facultad de Ciencias Químicas, UANL.

Lucas Martinez, A.; Gomez, R.;Villaseñor, J. y Mena, J. 2005. Comparación de diferentes plantas acuáticas en la depuración de aguas residuales con humedales de flujo subsuperficial. Encuentro internacional de fitodepuración. Lorca,Murcia-España. Pp. 258-263

Ly, J. 1993. Macrófitas acuáticas flotantes en sistemas integrados de producción animal. Instituto de Investigaciones Porcinas. La Habana – Cuba. En Línea: http://www.macrofitas.com/articulo2n.htm

Maine, M.A.; N. Suñe; H. Hadad; G. Sanchez; S.Caffaratti; J. Realini & C. Bonetto. Depuración del efluente de una empresa metalúrgica utilizando un wetland construido. Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación desarrollo y práctica. Edición: V. 1,2. 2007. Brasil. En línea: http://metrik.cl/aidis/index.php?s=macr%C3%B3fitas

Martínez-Taberner, A.; Martínez-Moll, V.; Moyà Niell, G.; Moyà Salom, A. Amengual Morro, C. 2007. Depuración alternativa, con aporte térmico de energía solar. *Investigaciones Geográficas*, No. 42, pp. 177-184.

Moreno, J.M. 2008.La utilización de plantas acuáticas (sistema filtro de macrófitas en flotación).Revista CEN Medio Ambiente No.9. Centro de recursos ambientales de Navarra. En Línea: 21 sept. 2008 http://www.navactiva.com/web/es/amedioa/doc/articulos/2008/04/46455.php..

Pettri, M. D. 2005. Depuración de lixiviados por fitoremediación. Facultad de Ciencias Exáctas, Químicas y Naturales (UNaM). Instituto de Ciencia Ambiental y Desarrollo Sostenible (ICADES). Misiones-Argentina. Entrevista.

Velasco, A. 2007. Aquaphytex: plantas para regenerar las aguas naturalmente. Infomanía 20:42. Seminario de pensamiento y reflexión sobre Béjar. En línea: http://bejar.biz/node/1023

ANEXOS

Anexo 1: Monitoreo del Agua del Río Quingeo realizada por la EMAC cuatro meses antes de iniciado en estudio

		PUNTO 1	PUNTO 2	Q. CAPELO	PUNTO 5	PUNTO 3	PUNTO 4
		2007	2007	2007	2007	2007	2007
Parámetros	UNIDAD	12-dic	12-dic	12-dic	12-dic	12-dic	12-dic
DBO5	mg/l	0,90	0,70	0,2	0,70	0,60	0,70
Cromo	ug/l	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
Plomo	ug/l	< 10	13,80	13,90	< 10	< 10	14,30
Cadmio	ug/l	< 0,5	< 0,5	1,80	1,10	< 0,5	< 0,5
Manganeso	ug/l	12,20	34,70	19,20	25,50	21,60	20,50
Coliformes totales	NMP/100ml	1,30E+03	5,40E+03	4,90E+02	1.700,00	1,70E+03	1,30E+03
Coliformes termotolerantes	NMP/100ml	5,40E+02	1,30E+03	1,10E+02	1,10E+03	4,90E+02	1,30E+03

Anexo 2: Análisis del lixiviado de partida y disolución realizada

Análisis del lixiviado de partida			
	Unidades	Análisis	Disolución
DBO5	mg/l	9400	188
NKT	mg/l	1629,93	32,59
Fósforo total	mg/l	34,88	0,69
Conductividad	uS/cm	20400	408
Plomo Inicial	ug/l	128,7	2,570
Cadmio Inicial	ug/l	9,9	0,198
pH		7,66	

Anexo 3: Resultados de los análisis de los diferentes tratamientos (dilución 2% de lixiviado)

Resultado del análisis para Demanda Bioquímica de Oxígeno

DBO5 (mg/l)						
	8 días	% 8 días	15 días	% 15 días	30 días	%30 días
Berro R1	24	12,8	74	39,4	29	15,4
Berro R2	59	31,4	44	23,4	20	10,6
Berro R3	29	15,4	13	6,9	10	5,3
Berro R4	37	19,7	17	9,0	28	14,9
Jacinto R1	75	39,9	10	5,3	4	2,1
Jacinto R2	107	56,9	26	13,8	5	2,7
Jacinto R3	39	20,7	9	4,8	0	0,0
Jacinto R4	28	14,9	24	12,8	12	6,4
Elodea R1	30	16,0	19	10,1	14	7,4
Elodea R2	47	25,0	15	8,0	13	6,9
Elodea R3	95	50,5	32	17,0	10	5,3
Elodea R4	32	17,0	9	4,8	20	10,6

Resultado del análisis para Nitrógeno Total

NKT (mg/l)						
	8 días	% 8 días	15 días	% 15 días	30 días	%30 días
Berro R1	5,32	16,3	12,88	39,5	12,88	39,5
Berro R2	8,4	25,8	10,64	32,6	5,88	18,0
Berro R3	3,92	12,0	4,2	12,9	4,2	12,9
Berro R4	4,48	13,7	6,44	19,8	10,36	31,8
Jacinto R1	17,92	55,0	8,12	24,9	3,92	12,0
Jacinto R2	15,4	47,2	6,72	20,6	2,24	6,9
Jacinto R3	8,4	25,8	5,32	16,3	2,24	6,9
Jacinto R4	5,32	16,3	5,6	17,2	3,64	11,2
Elodea R1	14,56	44,7	11,2	34,4	6,72	20,6
Elodea R2	15,68	48,1	12,32	37,8	6,44	19,8
Elodea R3	18,2	55,8	10,92	33,5	5,04	15,5
Elodea R4	14	42,9	8,12	24,9	7,56	23,2

Resultado del análisis para Fósforo Total

FOSFORO TOTAL (mg/l)						
	8 días	% 8 días	15 días	% 15 días	30 días	%30 días
Berro R1	0,64	92,8	1,24	179,7	1,02	147,8
Berro R2	0,56	81,2	0,64	92,8	0,73	105,8
Berro R3	0,33	47,8	0,47	68,1	0,34	49,3
Berro R4	0,5	72,5	0,22	31,9	0,85	123,2
Jacinto R1	0,48	69,6	0,58	84,1	0,45	65,2
Jacinto R2	0,28	40,6	0,69	100,0	0,28	40,6
Jacinto R3	0,26	37,7	0,07	10,1	0,05	7,2
Jacinto R4	0,38	55,1	0,48	69,6	0,18	26,1
Elodea R1	0,34	49,3	0,67	97,1	0,66	95,7
Elodea R2	0,48	69,6	0,24	34,8	0,37	53,6
Elodea R3	0,45	65,2	0,54	78,3	0,22	31,9
Elodea R4	0,51	73,9	0,21	30,4	0,19	27,5

Resultado del análisis de la Conductividad

CONDUCTIVIDAD (uS/cm)						
	8 días	% 8 días	15 días	% 15 días	30 días	%30 días
Berro R1	347	85,0	376	92,2	191	46,8
Berro R2	394	96,6	268	65,7	192	47,1
Berro R3	334	81,9	283	69,4	211	51,7
Berro R4	383	93,9	317	77,7	261	64,0
Jacinto R1	554	135,8	497	121,8	465	114,0
Jacinto R2	403	98,8	229	56,1	150	36,8
Jacinto R3	372	91,2	338	82,8	331	81,1
Jacinto R4	257	63,0	272	66,7	219	53,7
Elodea R1	465	114,0	382	93,6	413	101,2
Elodea R2	432	105,9	404	99,0	457	112,0
Elodea R3	598	146,6	564	138,2	523	128,2
Elodea R4	505	123,8	472	115,7	609	149,3

Resultado del análisis para Metales Pesados (Plomo y Cadmio)

Plomo 30 días	
Berro R1	31,5
Berro R2	12,8
Berro R3	29
Berro R4	19,6
Jacinto R1	20,7
Jacinto R2	12,4
Jacinto R3	2,9
Jacinto R4	13,2
Elodea R1	18,1
Elodea R2	14,3
Elodea R3	19,9
Elodea R4	18,6

Cadmio 30 días	
Berro R1	2,4
Berro R2	2
Berro R3	4,7
Berro R4	4,5
Jacinto R1	3,1
Jacinto R2	2,1
Jacinto R3	3,7
Jacinto R4	2,2
Elodea R1	3,2
Elodea R2	3,4
Elodea R3	2,9
Elodea R4	3,8

Anexo 4: Registro fotográfico del Estudio

AREA DEL RELLENO SANITARIO

Foto 1: Vista panorámica del Relleno Sanitario de Pichacay

Foto 2: Vista superior del Relleno Sanitario de Pichacay

Foto 3: Ingreso de recolectores al Relleno Sanitario

Foto 4: Maquinaria cubriendo los desechos

AREA DESTINADA PARA EL TRABAJO DE INVESTIGACION

Foto 5: Tanquero para transporte de lixiviados hacia Ucubamba

Foto 6: Lugar que se acondicionó para el estudio

Foto 7: Piscinas de almacenamiento de lixiviado

Foto 8: Sedimentadores para los lixiviados

Foto 9: Tanques de ferrocemento para almacenar lixiviados

DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

Foto 10: Socialización del trabajo con obreros del Relleno Sanitario

Foto 11: Colocación de la identificación de tratamientos

Foto 12: Inspección del área por personeros de la EMAC

Foto 13: Toma de muestras para realizar el análisis

RESULTADOS EN EL CAMPO

Foto 14: Chequeo de los tratamientos

Foto 15: Desarrollo de las especies en los tanques

Foto 16: Desarrollo del Jacinto de Agua **(*Eichornia crassipes*), L.**

Foto 17: Diferencia en el desarrollo del Jacinto de Agua

Foto 18: Desarrollo del Berro **(*Nasturtium officinale)*, L.**

Foto 19: Diferencia en el desarrollo del Berro

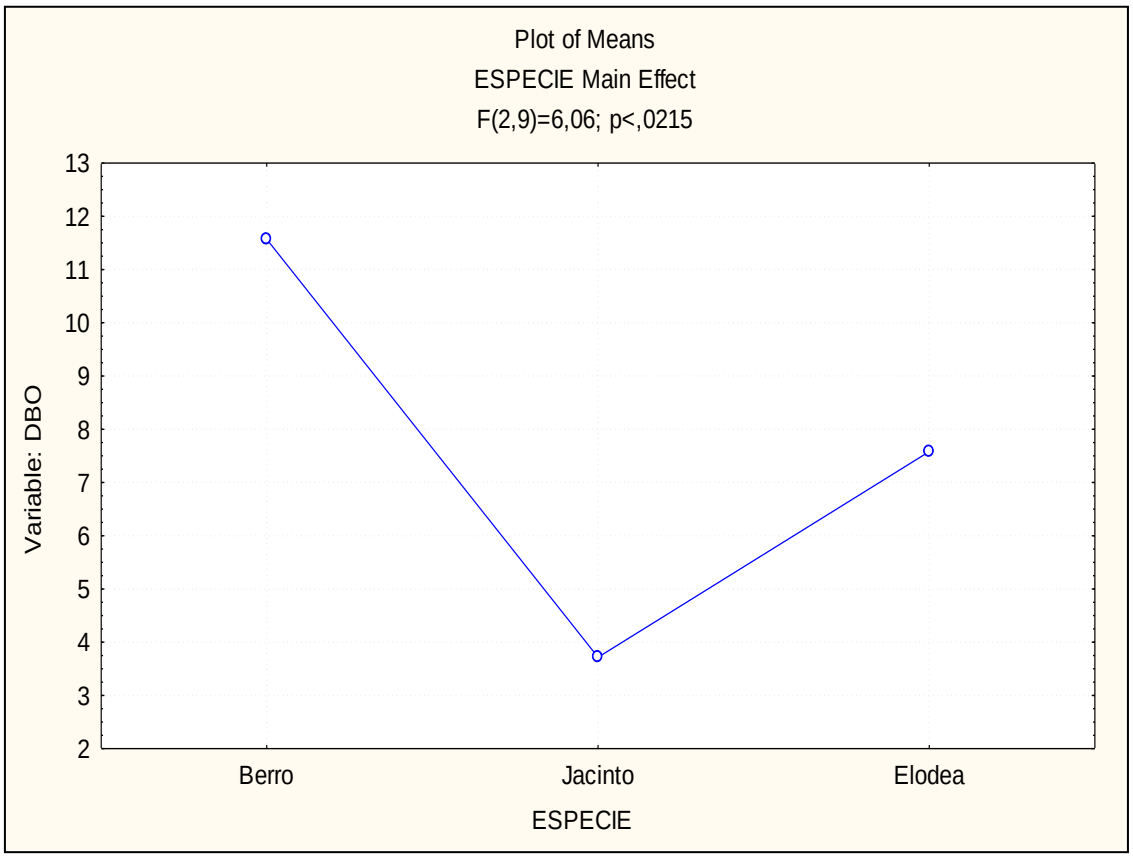
Foto 20: Desarrollo del Elodea **(*Elodea densa*), Mil.**

Foto 21: Diferencia en el desarrollo de la Elodea

Anexo 5: Resultados estadísticos obtenidos mediante la prueba de Scheffe comparando el potencial depurador de las especies utilizadas con el análisis realizado a los 30 días de tratamiento

Estadísticamente se obtuvieron los siguientes resultados en la comparación de las especies usadas a los treinta días, es decir, con el resultado del último análisis.

Remoción de DBO:



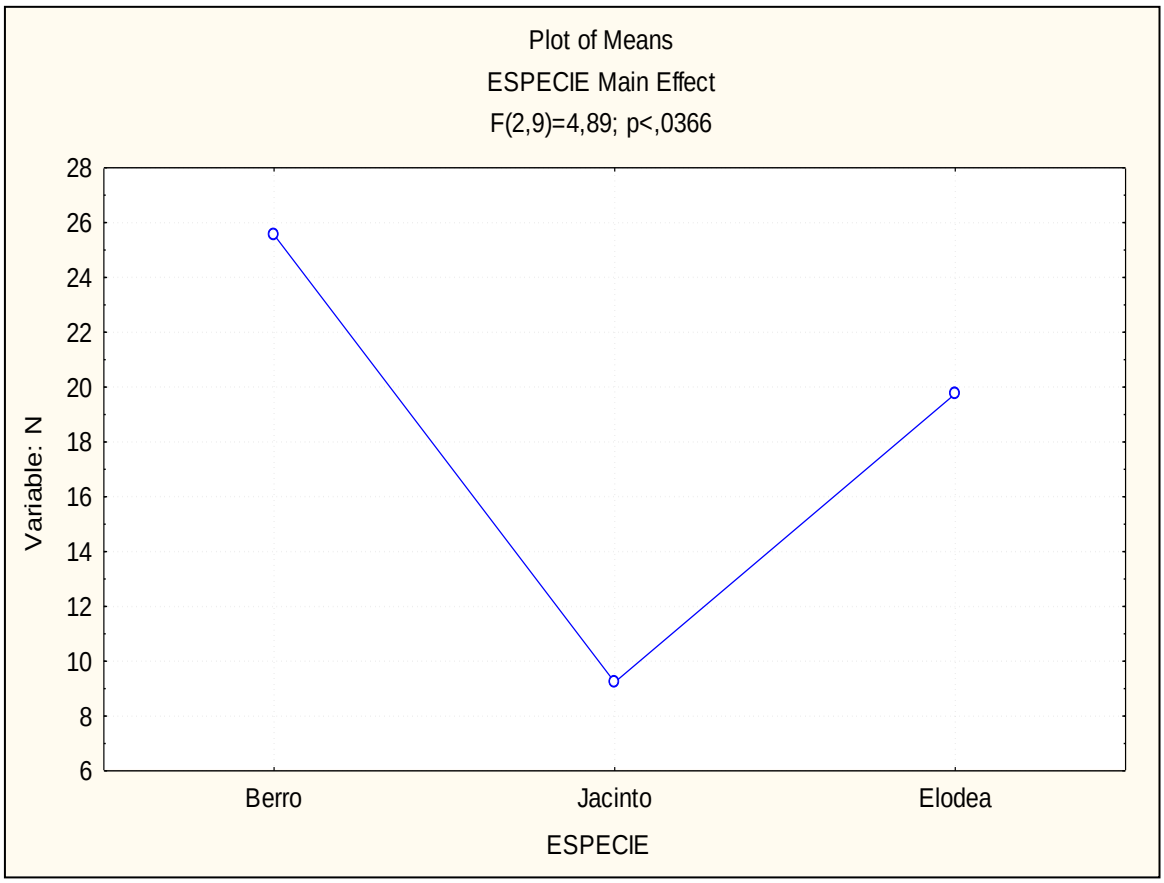
Scheffe test; variable DBO (new.sta)
Probabilities for Post Hoc Tests
MAIN EFFECT:
ESPECIE

alfa = 0.05

		{1}	{2}	{3}
		11,56915	3,717553	7,579787
Berro	{1}		0,02151024	0,26106423
Jacinto	{2}	0,02151024		0,28095227
Elodea	{3}	0,26106423	0,28095227	

La Elodea no tiene una variación significativa en comparación con las otras dos especies, sin embargo entre el Jacinto y el Berro si existe una diferencia significativa, siendo el Jacinto mucho mejor depurador en cuanto a DBO se refiere.

Remoción del Nitrógeno Total:

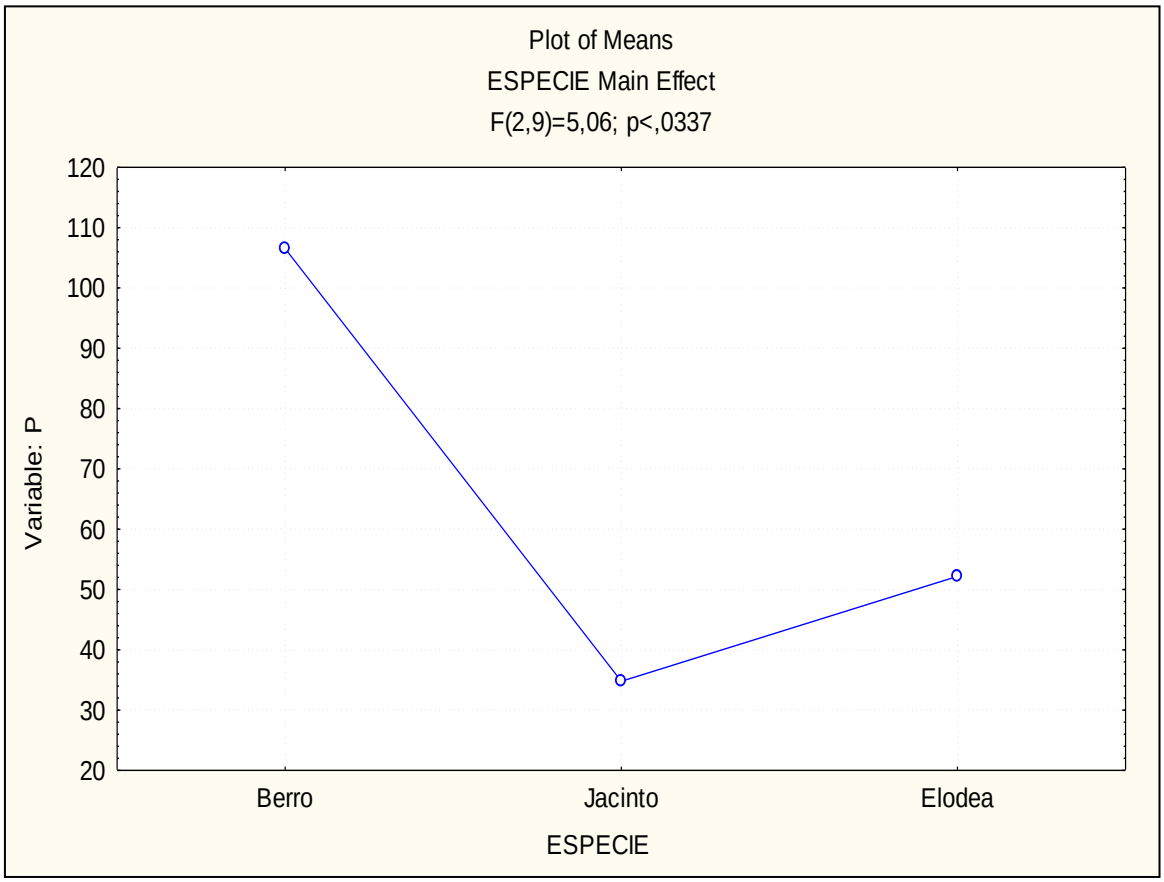


Scheffe test; variable N (new.sta)
Probabilities for Post Hoc Tests
MAIN EFFECT:
ESPECIE

		{1}	{2}	{3}
		25,55215	9,233129	19,75460
Berro	{1}		0,03900178	0,56939226
Jacinto	{2}	0,03900178		0,1943526
Elodea	{3}	0,56939226	0,1943526	

En la remoción de nitrógeno no se observa una diferencia significativa aún entre Jacinto y Berro que presentan mayor variación.

Remoción del Fósforo Total:

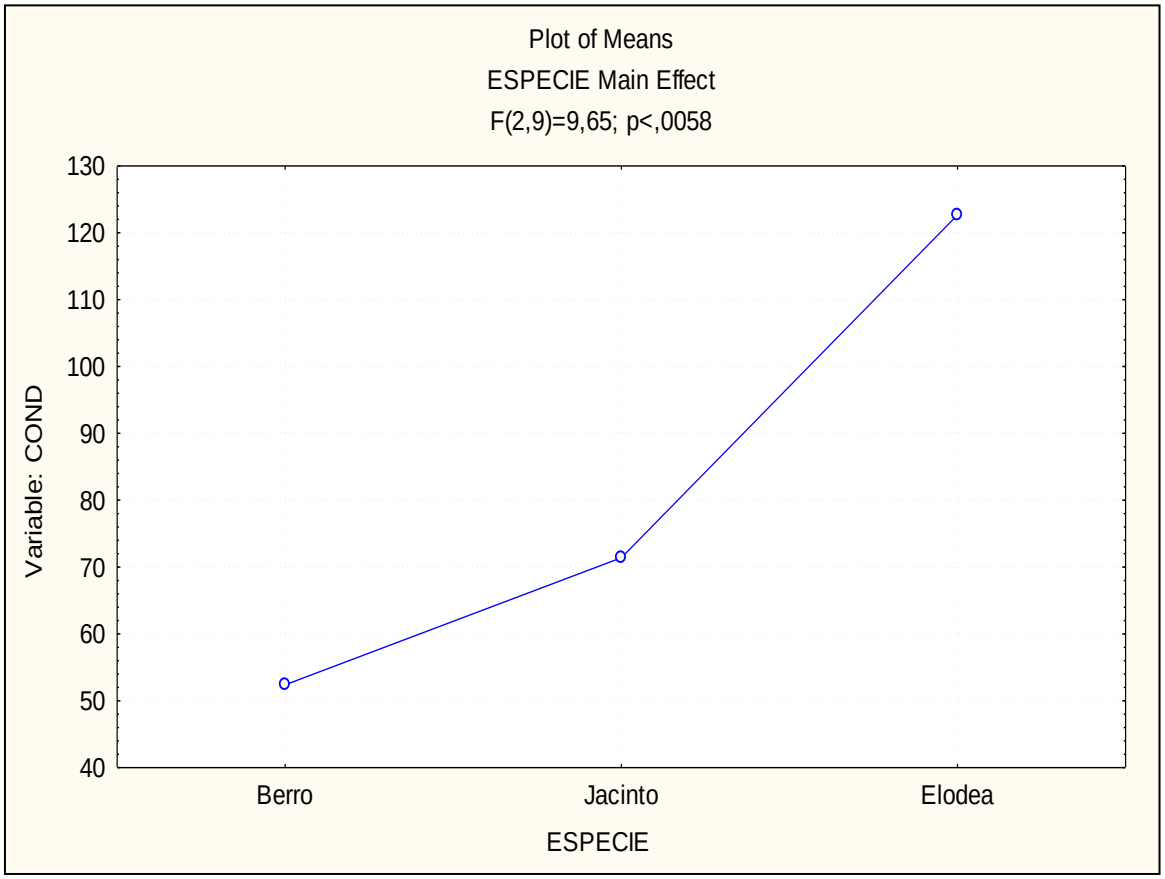


Scheffe test; variable P (new.sta)
Probabilities for Post Hoc Tests
MAIN EFFECT: ESPECIE

		{1}	{2}	{3}
		106,5217	34,78261	52,17391
Berro	{1}		0,04107729	0,12312924
Jacinto	{2}	0,04107729		0,76708198
Elodea	{3}	0,12312924	0,76708198	

En la remoción de fósforo tampoco se observa una diferencia significativa entre las diferentes especies a pesar de que los datos se observan bastante diferentes y considerando que el berro tiene una actividad mínima sobre este elemento.

Variación de la Conductividad luego de 30 días de tratamiento con las macrofitas acuáticas en estudio

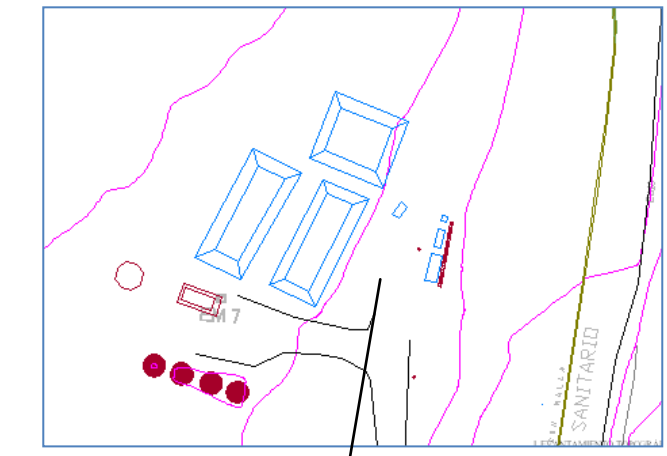
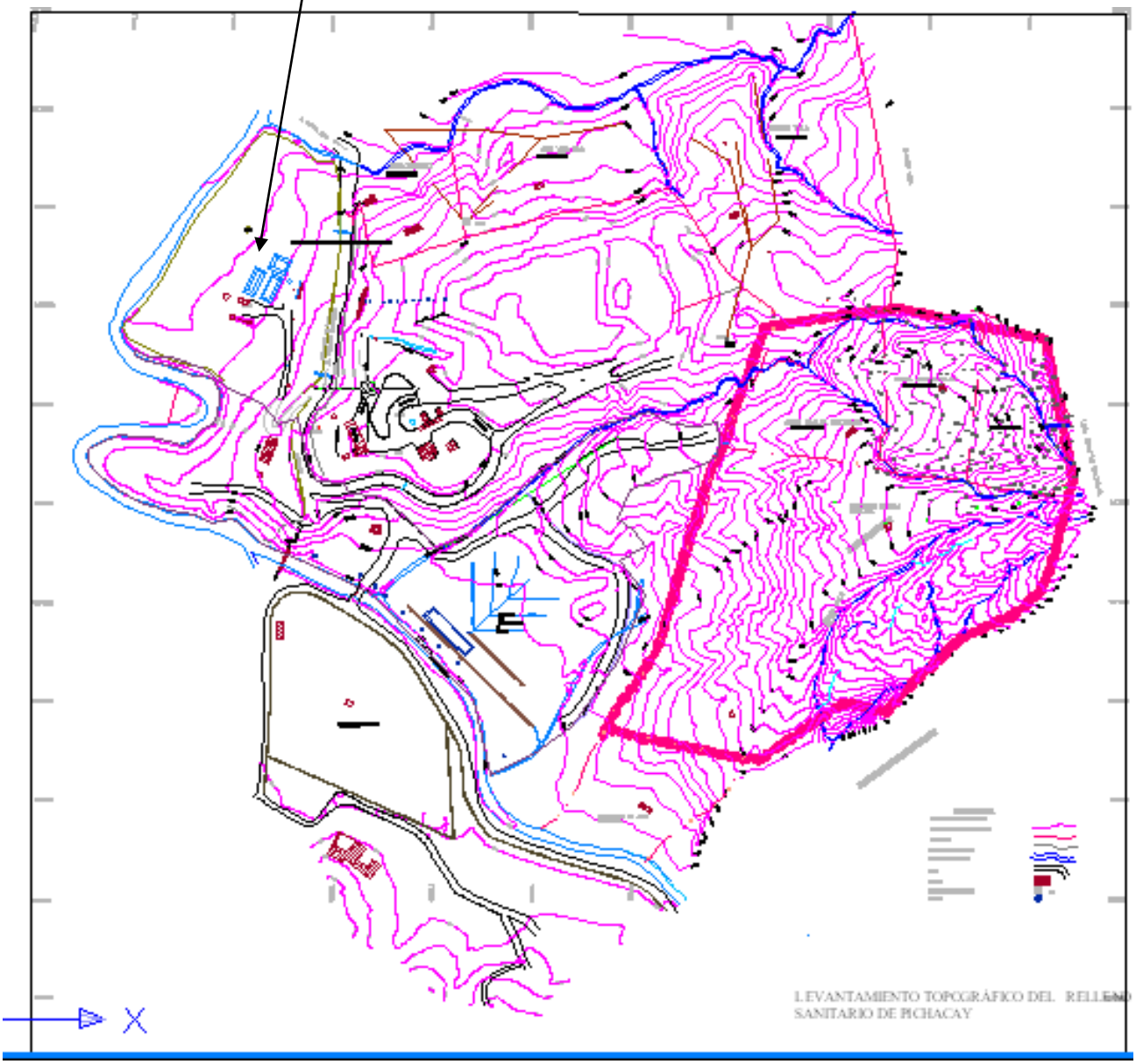


Scheffe test; variable COND (new.sta)
Probabilities for Post Hoc Tests
MAIN EFFECT:
ESPECIE

		{1}	{2}	{3}
		52,40000	71,40000	122,6750
Berro	{1}		0,5405274	0,00708357
Jacinto	{2}	0,5405274		0,03810873
Elodea	{3}	0,00708357	0,03810873	

En cuanto a la especie que mejora la excesiva conductividad se sugiere que el Berro tiene un efecto significativo cuando se lo compara con Elodea que no favorece a la depuración en este factor. Entre Berro y Jacinto la diferencia no es significativa.

Anexo 6: Levantamiento topográfico del Relleno Sanitario y acercamiento con detalle del área de los tanques de almacenamiento del lixiviado.

AREA DEL ESTUDIO

SECTOR DE LAS PISCINAS DE LIXIVIADOS