



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Industrial

“TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
DOMESTICAS”: Mediante lodos activados y plantas
acuáticas en zonas rurales sostenibles

Trabajo de investigación para optar al grado de:

Bachiller en Ingeniería Industrial

Autores:

ROBERTO ALEXANDER ESPINOZA RAMIREZ.
EMILIO FAUSTINO MEDINA DIAZ.

Asesor:

Ing. Willy Roberto Mantilla Correa.

Trujillo - Perú

2018

DEDICATORIA

A DIOS: Por ser el que me guía la vida, iluminando mi camino.

A MIS PADRES: Porque con amor, sacrificio, esfuerzo y orientación; supieron inculcar en mí los valores necesarios para ser lo que soy y lograr lo que uno se proponga en la vida.

A MIS HERMANOS: Por su cariño y apoyo moral, durante mi formación educacional.

A ellos, mi agradecimiento profundo, por su apoyo, sus enseñanzas y el cariño que me han brindado y porque representan para mí, lo más preciado de este mundo y son la razón de mis anhelos de superación.

AGRADECIMIENTO

A los profesores de la plana docente de esta prestigiosa Universidad Privada del Norte quienes nos proporcionaron sus conocimientos y el apoyo para llegar a estas instancias de la carrera.

Un reconocimiento especial a Ing. Danny Celada, por su colaboración en todo este tramo de la carrera.

A Ud. profesor: Willy Mantilla Correa por enseñarnos de la mejor manera este curso, en pro de una mejor comprensión y entendimiento del mismo.

Tabla de contenido

| | |
|--|----------------|
| ACTA DE AUTORIZACIÓN PARA PRESENTACIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN | ¡Error! |
| Marcador no definido. | |
| ACTA DE EVALUACIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN | ¡Error! |
| Marcador no definido. | |
| DEDICATORIA | 2 |
| AGRADECIMIENTO | 3 |
| ÍNDICE DE TABLAS | 5 |
| ÍNDICE DE FIGURAS | 8 |
| RESUMEN | 9 |
| CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN | 11 |
| CAPÍTULO II: METODOLOGÍA | 14 |
| CAPÍTULO III: RESULTADOS | 15 |
| CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES | 20 |
| REFERENCIAS | 25 |
| ANEXOS | 27 |

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores obtenidos de los parámetros determinados a los 45 días de tratamiento con el humedal.

| Parámetro | Entrada al humedal | Salida del humedal | % de remoción |
|---------------------------------|--------------------|--------------------|---------------|
| PH | 8.33 | 7.29 | - |
| Conductividad eléctrica (mS/cm) | 34.4 | 66.4 | 93* |
| DQO (mgO ₂ /l) | 416 | 120 | 71 |
| Calcio (mg/l) | 6.6 | 0.54 | 91 |
| Cloruro (mg/l) | 0.011 | 0.0024 | 77 |
| Nitrato (mg/l) | 0.60 | 0.82 | 36* |
| Nitrito (mg/l) | 0.234 | 0.040 | 82 |
| Amonio (mg/l) | 1.451 | 0.0003 | 99.9 |
| Fosfato (mg/l) | 10.3 | 2.3 | 77 |
| Cadmio (mg/l) | 0.003 | 0.005 | ** |
| Plomo (mg/l) | 0.070 | 0.025 | *** |

* aumentaron; ** aumento no significativo; ***disminución no significativa.

Tabla 2. Porcentaje de reducción de coliformes en los sistemas acuáticos.

| Condición | NMP/100 ml coliformes | | % reducción coliformes | |
|---|-----------------------|---------|------------------------|---------|
| | Totales | Fecales | Totales | Fecales |
| Control: Agua sin tratar | 2400 | 1600 | - | - |
| 1er tratamiento: Agua tratada con junco | 920 | 920 | 61.67 | 42.50 |
| 2º tratamiento: Agua tratada con tule | 170 | 110 | 81.52 | 88.04 |
| 3er tratamiento: Agua tratada con lirio | 140 | 140 | 17.65 | 27.27 * |
| % de remoción total | | | 94.17 | 91.25 |

* aumentó con respecto al 2º tratamiento.

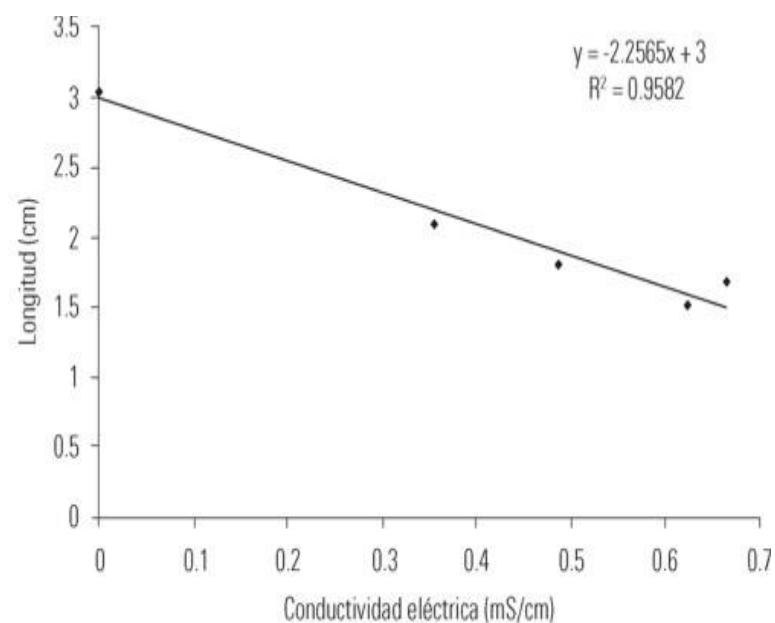


Figura. 2. Correlación entre el incremento de la conductividad eléctrica y la elongación radicular de sorgo.

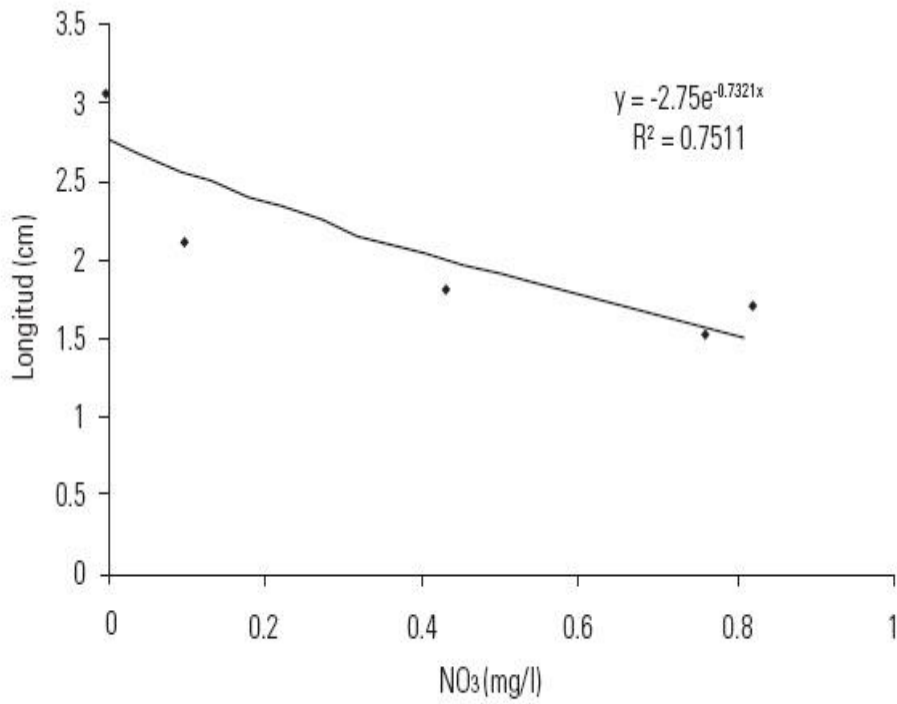


Figura. 3. Correlación entre el incremento de ión NO_3 y la elongación radicular de sorgo.

ÍNDICE DE FIGURAS

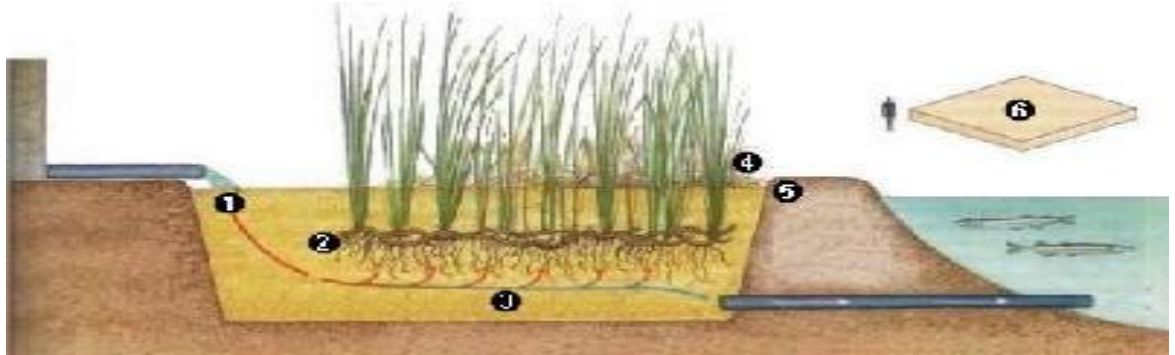


Fig. modelo de humedal con plantas acuáticas (juncos)

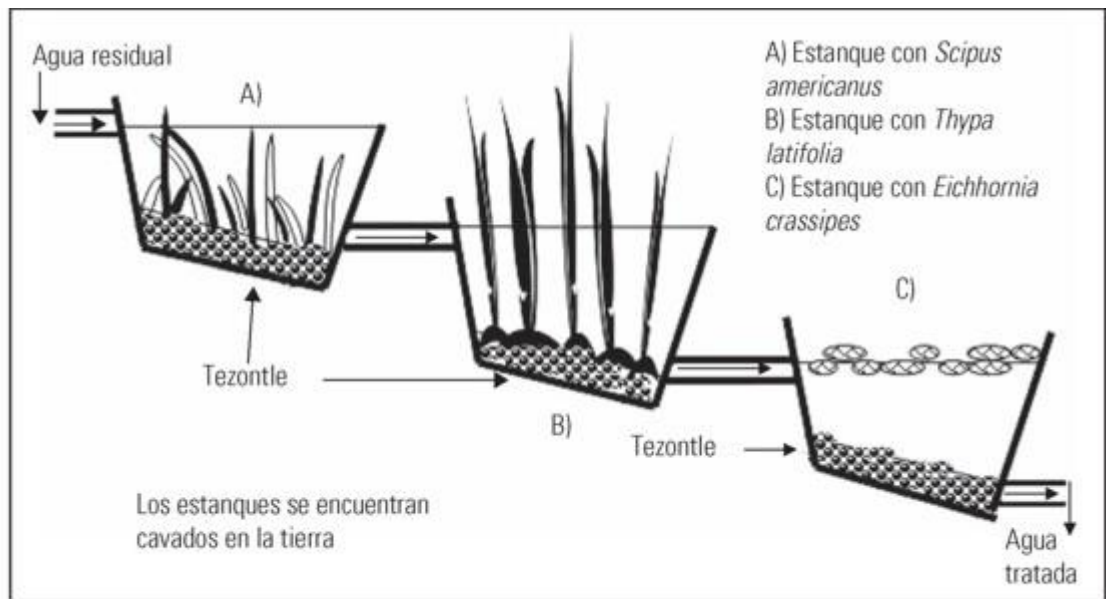


Figura. 1. Diagrama funcional del sistema de humedales y macrofitas utilizadas.

RESUMEN

El agua es el recurso natural más valioso de la tierra, sin ella no existiría vida. Alrededor del 71% de la corteza terrestre está cubierta por agua. A pesar de ser tan abundante, solo un reducido porcentaje es utilizable para el consumo humano.

Si se quisiera describir el término “consumo humano”, se diría que es el uso del agua para el contacto con los seres humanos. El término es muy amplio ya que al considerar contacto humano se refiere a beber el agua, utilizarla para la limpieza de alimentos, limpieza de materiales, entre otras actividades. El agua es un recurso muy cuidadoso, a pesar de ello se desperdicia este líquido vital en actividades rutinarias con menor importancia y no se cuida que el ciclo regular de ésta llegue a completarse adecuadamente, por lo que cada vez se va reduciendo el volumen de agua potable.

Se está viviendo una época crucial donde el correcto y racional uso del agua podría cambiar el curso de la vida de las personas dentro de los próximos años. El Perú es un país que tiene la suerte de contar con agua subterránea que proporciona y llega a satisfacer una considerable cantidad de personas con este vital líquido. Además, el precio del agua es económicamente reducido con respecto a muchos países, ésta puede ser una de las razones por las que no se sabe emplear de manera correcta y consciente el agua.

En el Perú no se ha logrado solucionar el tema de la obstrucción del ciclo correcto de utilización del agua, debido a que el agua debe pasar por procesos de tratamiento después de

ser empleada, para finalmente destinarla por efluentes adecuados hacia sus orígenes. En algunos lugares se han centrado solo en almacenar aguas residuales domésticas que producen no solo problemas de salud, sino también en el medio ambiente y una falta de control operacional por las entidades prestadoras de agua.

En el presente trabajo se dará un alcance de la situación real del Perú en el tema de aguas residuales en las zonas rurales. Se plantearán vías para la reutilización del agua y se buscará mediante una estructura de investigación alternativas de soluciones viables y rentables en el Perú. Las soluciones no solo tendrán como fondo principal el uso racional del agua sino brindar calidad de vida en zonas rurales sostenibles para las comunidades.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso esencial para la vida en este planeta. Los seres humanos dependemos de ella para nuestra salud y para la producción de alimentos, bienes y servicios. El agua a través de la historia ha sido motivo de conflictos por posesión de tierras. Ya que las zonas más cercanas a ríos o lagunas serán siempre mejor vistas que zonas áridas o desérticas, por su beneficio en la agricultura, ganadería, entre otros.

Según el informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo humano, la privación de agua limpia y saneamiento básico destruyeron más vidas que cualquier guerra o acto terrorista (PNUD, 2006). Dentro de la problemática mundial, alrededor de novecientos millones de personas en el mundo no tiene acceso al agua potable, aproximadamente 1,100 millones de habitantes no beben agua potable y 2,600 millones no tienen servicios de alcantarillado (PNUD, 2006). El déficit mundial del 2 agua e infraestructura de saneamiento está retardando los avances económicos y debilita los esfuerzos de millones de personas por salir de la pobreza.

Además de la escasez del agua, tenemos como tema importante la contaminación de este recurso por diversas actividades antropogénicas, incluyendo las del sector industrial, agrícola y residencial. La contaminación ha alterado el ciclo regular del agua durante años y cada vez en mayores cantidades. Esto significa que la naturaleza provee de agua y se devuelve en su mayoría contaminada.

En la actualidad muchas personas desconocen los procesos de reutilización de las aguas residuales y sus beneficios potenciales. Por ejemplo, en el caso de las agroindustrias, el agua residual adecuadamente tratada es un agua con nutrientes adecuados para las tierras de sembrado.

En el mundo existen casos actuales que son ejemplos exitosos del uso de tecnología moderna de tratamiento de aguas residuales, a pesar de las dificultades relacionadas con su entorno. Un ejemplo es Israel, un país donde su geografía limita la captación y suministro de agua a sus pobladores, pero con el uso de tecnologías modernas han hecho viable satisfacer la demanda de este recurso. Es así que cuentan con sistemas de tratamiento de aguas residuales para el riego en la agricultura, teniendo éxito en sus productos. Otros casos exitosos en el mundo podrían ser ejemplos concretos del grado de desarrollo hídrico que podría evaluar y adecuar a la realidad peruana. Esta adecuación no debe ser solo una solución técnica, sino debe incluir un análisis de las implicaciones sociales, políticas y culturales.

Por otra parte, el crecimiento económico y el aumento de viviendas en zonas rurales podrían generar serios problemas al medio ambiente y al conjunto de ecosistemas que se encuentran en dicha zona rural ya que se carece de sistema de alcantarillado nacional. Estos problemas también podría ser una oportunidad de mejoramiento en el sistema de agua y desagüe, como se mostrará a continuación.

Abordaremos el tema de ingeniería de aguas residuales, procesos, tecnologías y el estado de aplicación del tratamiento de aguas residuales en el mundo. También se incluirá la problemática del agua residual nacional y un planteamiento de alternativas viables para zonas rurales.

Se mostrará cómo las buenas ideas de mejora con ingeniería trazan un panorama donde la economía, sociedad y el medio ambiente pueden relacionarse y trabajar en conjunto.

Centraremos todo el problema del tratamiento de aguas residuales en soluciones viables, y se buscará fijar una solución específica para las zonas rural en particular. Se verán

las opciones de alternativas de mejora rural en diferentes aspectos, las cuales son escasas, buscando optimizar la calidad de vida de los pobladores.

Finalmente, el producto de ideas se unificará y consolidará en un planteamiento alternativo del tratamiento de aguas residuales para las zonas alejadas de los urbanismos (zonas rurales). Esta fusión dará como resultado el concepto de zonas rurales sostenibles, es decir, zonas de población fija que generen beneficios propios.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

Especificar el tipo de estudio, en este caso “revisión sistemática de la literatura científica” y referenciar la base teórica de esta metodología. Especificar la pregunta de la investigación. Detallar los criterios de selección y exclusión de documentos: periodo, idioma, estatus de publicación, tipos de publicación y las razones para emplear estos criterios. Describir la fuente de información como bibliotecas virtuales o bases de datos: Ebsco, Redalyc o Scielo o todas las que se utilicen. Especificar la estrategia de búsqueda de información, de forma que sea reproducible. Detallar el proceso de clasificación de documentos (puede ser especificado en una tabla con estas columnas: objeto de estudio, método de estudio, resultados y referencia bibliográfica) y extracción de datos por ej. Cómo se analizó cada documento y también describir cómo se realizó el descarte de duplicados. Extensión mín. 1 y máx. 3 páginas. Para revisar el procedimiento consultar el artículo:

Moher, D. (2009). Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *Annals of Internal Medicine*, 151(4), 264. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-151-4-200908180-00135>

CAPÍTULO III. RESULTADOS

Los humedales artificiales o wetlands construidos tienen ventajas respecto de los sistemas de tratamiento alternativos, debido a que requieren poca o ninguna energía para funcionar. Si hay suficiente tierra barata disponible cerca de la instalación de los wetlands de cultivo acuático, puede ser una alternativa de costo efectivo. También proporcionan un hábitat para la vida silvestre.

La importancia de los humedales ha variado con el tiempo. Los humedales son zonas de transición entre el medio ambiente terrestre y acuático y sirven como enlace dinámico entre los dos. El agua que se mueve arriba y abajo del gradiente de humedad, asimila una variedad de constituyentes químicos y físicos en solución, ya sea como detritus o sedimentos, estos a su vez se transforman y transportan a los alrededores del paisaje.

Los humedales proveen sumideros efectivos de nutrientes y sitios amortiguadores para contaminantes orgánicos e inorgánicos. Esta capacidad es el mecanismo detrás de los humedales artificiales, también denominados wetlands, para simular un humedal natural con el propósito de tratar las aguas residuales de empresas y municipios.

La Solución biotecnológica consiste en la instalación de humedales artificiales que actúan como filtros naturales. Ubicados entre la planta y los recursos acuáticos (ríos, lagos, lagunas), estos sistemas, además de no necesitar mantenimiento ni consumir energía eléctrica, cuestan menos que la cuarta parte de un sistema de tratamiento

tradicional. Los humedales se construyen utilizando diferentes especies de plantas que abundan en la zona: totoras, repollitos de agua, camalotes o juncos.

Humedal artificial de desechos cloacales e industriales

1 - Los desechos cloacales desembocan en el humedal, que es una cava llena de arena que funciona como aislante para que los olores no salgan a la superficie.

2 - El filtro del humedal consiste en una gran plantación, en este caso de juncos con sus raíces dentro de la arena, que se alimentan del agua.

3 - Los nutrientes del agua son absorbidos por los juncos, que los atrapan en sus tejidos y los utilizan para su crecimiento.

4 - Los nutrientes absorbidos se eliminan con el cambio de tallo del junco. Esos restos forman una capa aislante.

5 - El agua, ya libre de nutrientes, desemboca desde el humedal hacia la laguna.

6 - El tamaño del humedal: La superficie necesaria se calcula en base a la cantidad de habitantes de la ciudad que produce los desechos, según la siguiente relación: 1 persona = alrededor de 5 m².

Plantas acuáticas en el tratamiento de aguas residuales

Los sistemas de plantas acuáticas están en los es tanques poco profundos como plantas acuáticas flotantes o sumergidas. Los sistemas más completamente estudiados son aquellos que usan la lenteja de agua. Estos sistemas incluyen dos tipos basado en tipos de plantas dominantes. El primer tipo usa plantas flotantes y se distingue por la habilidad de estas

plantas para derivar el dióxido carbono y las necesidades de oxígenos de la atmósfera directamente. Las plantas reciben sus nutrientes minerales desde el agua.

El segundo tipo de sistema consiste en plantas sumergidas, se distingue por la habilidad de estas plantas para absorber oxígeno, dióxido de carbono, y minerales de la columna de agua. Las plantas sumergidas se inhiben fácilmente por la turbiedad alta en el agua porque sus partes fotosintéticas están debajo del agua.

Antecedentes:

Se trata de María Alejandra Maine quien integró un equipo de la UNL para investigar el tratamiento de efluentes en la empresa Bahco. En el predio de la planta en Santo Tomé – Provincia de Santa Fe – Argentina, se construyó un humedal para realizar el pulido final de los líquidos industriales y cloacales.

La idea de construir un humedal a cielo abierto con plantas que se encargaran de absorber y depurar los residuos líquidos surgió en el 2001 cuando Bahco Argentina decidió mejorar su estrategia de gestión ambiental. Para disminuir el impacto generado por los procesos de fabricación, la empresa decidió anexar una etapa de pulido final a su sistema de tratamiento de efluentes.

Humedales artificiales:

Un humedal artificial es un sistema de tratamiento de agua residual (estanque o cauce) poco profundo, no más de 0.60 mts, construido por el hombre, en el que se han sembrado plantas acuáticas, y contado con los procesos naturales para tratar el agua residual. Los humedales artificiales o wetlands construidos tienen ventajas respecto de los sistemas de tratamiento alternativos, debido a que requieren poca o ninguna energía para funcionar. Si hay suficiente

tierra barata disponible cerca de la instalación de los wetlands de cultivo acuático, puede ser una alternativa de costo efectivo. Los humedales artificiales o wetlands proporcionan el hábitat para la vida silvestre, y son, estéticamente, agradables a la vista.

Ventajas:

- 1) Las plantas pueden ser utilizadas como bombas extractoras de bajo costo para depurar aguas contaminadas.
- 2) Algunos procesos degradativos ocurren en forma más rápida con plantas que con microorganismos.
- 3) Es un método apropiado para descontaminar superficies grandes o para finalizar la descontaminación de áreas restringidas en plazos largos.

Limitaciones:

- 1) El proceso se limita a la profundidad de penetración de las raíces o aguas poco profundas.
- 2) Los tiempos de proceso pueden ser largos.
- 3) La biodisponibilidad de los compuestos o metales es un factor limitante en la captación.

Las plantas pueden incorporar las sustancias contaminantes mediante distintos procesos que se representan en la siguiente ilustración y se explican en la tabla que continúa:

Tipos de Fito remediación, en donde se indica la zona de la planta en donde ocurre el proceso.

Funciones de los humedales artificiales:

Las actividades humanas han dado y siguen dando origen a varios tipos de humedales de interés para algunas especies vegetales.

- Procesos de remoción físicos:

Los humedales artificiales son capaces de proporcionar una alta eficiencia física en la remoción de contaminantes asociado con material particulado.

-Procesos de remoción biológicos:

La remoción biológica es quizá el camino más importante para la remoción de contaminantes en los humedales artificiales. Extensamente reconocido para la remoción de contaminantes en los estos humedales es la captación de la planta. Los contaminantes que son también formas de nutrientes esenciales para las plantas, tales como nitrato, amonio y fosfato, son tomados fácilmente por las plantas de estos humedales

-Procesos de remoción químicos:

El proceso químico más importante de la remoción de suelos de los humedales artificiales es la absorción, que da lugar a la retención a corto plazo o a la inmovilización a largo plazo de varias clases de contaminantes.

CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES

Análisis del agua residual y tratada. Los resultados más sobresalientes se aprecian al comparar las características fisicoquímicas del agua de la entrada y salida del humedal a los 45 días del tratamiento (tabla 1), después de los cuales todos los parámetros disminuyeron a excepción de la conductividad eléctrica y el ión nitrato. El pH varió de 8.33 a 7.29, lo que puede tener efectos benéficos para la biota acuática así como para los cultivos, ya que el agua de los canales tiene un uso agrícola. Hench et al. (2003) reportan una disminución de 0.5 unidades en los valores de pH en un humedal que combina diversas macrofitas. Este valor final de pH se ajusta al límite permitido para el agua de riego de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-CCA031-ECOL-1993.

En cuanto a la DQO (mgO_2/l), ésta fue reducida por el humedal en un 71 %. Los resultados obtenidos en este experimento son superiores a los reportados por Steinmann et al. (2003) y Jawarkar (1995), quienes lograron remociones de 37.6 % y de 28 a 41 %, respectivamente, empleando un sistema de humedal. Por otro lado, al analizar la concentración de nutrientes en el agua de riego, se observa que en ésta, los nitritos disminuyeron en un 82 % mientras que los nitratos se incrementaron un 36 %, lo que confirma la existencia de procesos de nitrificación y desnitrificación dentro del humedal. Asimismo, el nitrógeno amoniacal fue removido en un 99 %, lo cual coincide con lo reportado por Martin & Moshiri (1994) y Tong & Sikora (1995), quienes lograron un porcentaje de remoción del 98.3 % y del 95 al 100 % respectivamente. El fosfato se removió en un 77 %, mientras que los iones calcio y cloruro disminuyeron su concentración en un 91 % y 77 % respectivamente. Al analizar las concentraciones de cadmio y plomo, tanto en el

control como en el agua tratada, se observa que los valores de éstos se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, los cuáles son: 0.2 mg/l para cadmio y 0.5 mg/l para plomo (tabla1). Las diferencias existentes en las concentraciones de ambos metales entre la entrada y la salida del humedal, se pueden explicar como un efecto de los cambios iónicos originados por las variables de estabilidad del agua, así como por el pH, más que a una remoción de los mismos por efecto de las macrofitas. Aún cuando los volúmenes de estos elementos son muy bajos en el agua del Canal Nacional, sería importante evaluar su concentración en cultivos que crecen sobre los suelos regados con esta agua, ya que las plantas tienden a bioacumularlos al no poderlos biodegradar.

Los valores de conductividad eléctrica se incrementaron un 93 %, este efecto se atribuyó principalmente a la evapotranspiración y a la evaporación del agua retenida durante más de seis semanas en el sistema completo; aún así, esta agua se considera como de buena calidad, apta para riego, con salinidad media y sodicidad baja (C2-S1) de acuerdo a la Norma de Riverside (Cadahia & Lucerna, 2000).

Los resultados del análisis de concentración de coliformes en los sistemas acuáticos (tabla 2) una vez finalizado el tratamiento, mostraron valores muy altos en las aguas del Canal Nacional (control): 2400 número más probable (NMP)/100 ml y 1600 NMP/100 ml para coliformes totales y fecales respectivamente, mientras que con el empleo de plantas acuáticas, las coliformes fueron removidas en mayor proporción conforme pasaban de un estanque a otro, de tal modo que se redujeron a 140 NMP/100 ml en ambos casos al salir del

humedal, lo que representa una remoción total de 94.17 % y 91.25 %, respectivamente. Estos resultados fueron satisfactorios, en tanto que el límite máximo permisible de coliformes fecales en agua de riego es de 240 NMP/100 ml (NOM-33-ECOL-1993).

Los resultados anteriores permiten suponer que la reducción de coliformes puede deberse al efecto del tiempo de residencia que va teniendo el agua. Por lo tanto, el empleo de esta tecnología puede representar ventajas importantes desde el punto de vista sanitario para los consumidores.

Influencia del agua tratada y sin tratar en el crecimiento inicial de plántulas. Se partió de un porcentaje de germinación de 98 % para sorgo y 96.7 % para maíz, sin que existiera diferencia significativa ($P \leq 0.05$) entre ellas; los valores promedio y la desviación estándar se presentan en la tabla 3.

La elongación de raíz y tallo tanto en sorgo como en maíz, regados con agua sin tratar y con agua tratada durante 15, 30 y 45 días, presentó variaciones. Sus valores promedio y desviación estándar se sintetizan en la tabla 4.

La influencia del agua tratada y sin tratar en el crecimiento inicial de plántulas se aprecia más claramente en raíces, lo cual coincide con las pruebas de intercalibración reportadas por Ronco et al. (2002) y los bioensayos realizados por An (2004). Particularmente en sorgo, la mayor elongación se apreció en las semillas regadas con agua destilada (mostrando diferencia significativa con respecto al resto de los tratamientos). Las

menores elongaciones se presentaron cuando las semillas fueron regadas con agua tratada, esto probablemente se debió al incremento paulatino de la conductividad eléctrica, cuya correlación entre ambos parámetros se presenta en la Fig. 2, donde se aprecia una relación inversamente proporcional y una $R^2 = 0.96$. Es decir, en la fase de germinación de ambos cultivos, el agua resulta ser el factor limitante más importante, en tanto que la planta depende más de los nutrientes almacenados en los cotiledones que de la absorción de algún mineral específico. Por lo tanto, al incrementarse la salinidad del agua se reduce la absorción de ésta por parte de la semilla y del embrión, reduciendo la cantidad de agua disponible para los procesos de elongación y división celular.

El incremento del ión NO_3 registrado a lo largo del tratamiento tiene un efecto similar al de conductividad eléctrica respecto a la longitud de raíz de sorgo, es decir es inversamente proporcional, con una $R^2 = 0.75$ (Fig. 3).

Este alto índice de correlación no necesariamente significa que el ión nitrato esté inhibiendo la elongación radicular, sino que puede haber otros factores involucrados que no hayan sido evaluados. En este sentido, Díaz et al. (2004) reportaron que la presencia de sustancias tóxicas impiden el crecimiento normal de la raíz. Por su parte, An (2004) registró inhibición en el crecimiento radicular con concentraciones de cadmio superiores a 40 mg/Kg. En el caso del maíz, la mayor elongación radicular se obtuvo en semillas regadas con agua sin tratar, cuyas características son menor conductividad eléctrica y mayor cantidad de nutrimentos, que al final del tratamiento. Cuando las semillas fueron regadas con agua tratada durante 45 días, en la que se registró la mayor conductividad eléctrica y menor cantidad de nutrimentos, la elongación de la raíz en el maíz presentó un crecimiento intermedio, a diferencia de la raíz de sorgo. Lo anterior puede atribuirse a que la especie ha

sido reportada como una planta que cuenta con estrategias para tolerar las sales (Johanson & Cheeseman, 1983). Las raíces adventicias de maíz presentaron mayor elongación al ser regadas con agua destilada y sin tratar, sin presentarse diferencia significativa entre ellas.

Tanto en sorgo como en maíz, la mayor elongación de tallo se obtuvo cuando fueron regados con agua destilada y sin tratar, desarrollándose menos cuando las semillas fueron regadas con agua del resto de los tratamientos (tabla 4).

En ambos cultivos estudiados, el menor peso seco de la sumatoria de raíces y tallos se obtuvo con el agua filtrada durante los primeros 15 días, y se incrementó cuando fueron regadas con agua tratada en los humedales durante 30 y 45 días, sin haber diferencia significativa entre estos dos períodos de tratamiento (tabla 5).

De acuerdo a la remoción bacteriana y a la mejor calidad de parámetros fisicoquímicos, puede decirse que la operación de este sistema fue eficiente en cuanto al papel de las macrofitas seleccionadas, obteniéndose agua de mejor calidad para irrigación desde el punto de vista de las normas sanitarias, mas no en cuanto a su concentración de sales. La experiencia obtenida en su operación fue importante para aplicar futuros criterios de diseño y mejorar las condiciones de manejo, sobre todo en lo que se refiere a las especies empleadas, número de ellas por superficie, tiempos de tratamiento, dimensión del humedal y volumen de agua obtenida, evaporación de la misma, así como concentración de sales.

REFERENCIAS

Organismo Mundial De La Salud y Unicef (2007). La Meta de los ODM Relativa – El Agua Potable y el Saneamiento: El reto del decenio para zonas urbanas y rurales (1° Edición). Suiza: Organismo Mundial de la Salud.

Watkins, K. (2006). Informe sobre el desarrollo humano. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (1° Edición). España: Grupo Mundi – Prensa.

Quiroz, P. (2009). Planta de Tratamiento de aguas residuales para regadío en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima: Universidad Mayor de San Marcos.

Revista Constructivo – Edición 85 (2012). Infraestructura: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Taboada (Pág. 44 – 54).

Revista Construcción e Industria (2011). Los parques de Carabayllo – Edición 269 (página de 20 a 21).

Seghezzeo, L. (2012). Exposición de Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente. Trabajo expuesto en “Curso Internacional: Tratamiento anaerobio de aguas residuales domésticas e industriales”. Realizado en Lima del 2 al 8 de Mayo del 2012.

Seguí, L. (2004). Sistemas de Regeneración y Reutilización de Aguas Residuales. Una fuente alternativa de suministro dentro de una gestión integral del agua. Universidad Politécnica de Cataluña – España.

<https://www.justicia2020.gob.ar/.../El-uso-de-las-plantas-acuáticas-para-el-tratamiento>

El uso de las plantas acuáticas para el tratamiento de aguas residuales.

SEOÁNEZ, C.M. 1999. Aguas residuales: tratamiento por humedales artificiales. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España, pp. 51-57. [

El formato de la tesis, las citas y las referencias se harán de acuerdo con el Manual de Publicaciones de la American Psychological Association sexta edición, los cuales se encuentran disponibles en todos los Centros de Información de UPN, bajo la siguiente referencia:

Código: 808.06615 APA/D

También se puede consultar la siguiente página web:

ANEXOS

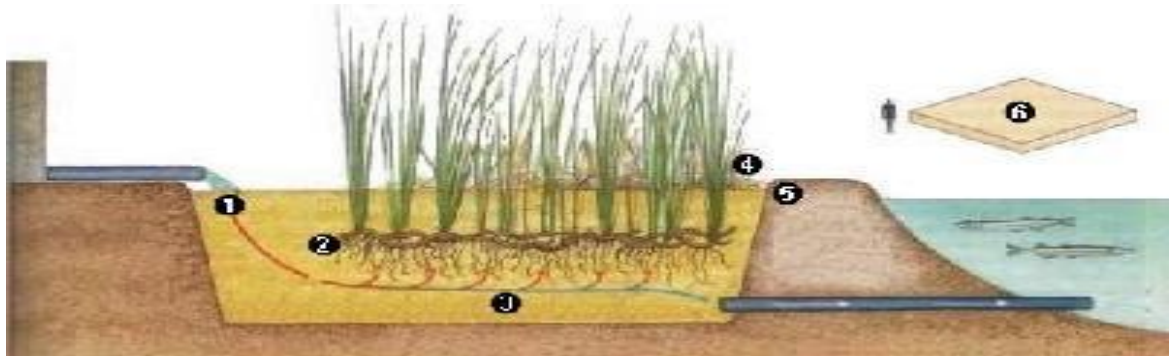


Fig.1 modelo de humedal para tratamiento de aguas residuales.



Fig.02 pozas para tratamiento de aguas residuales con plantas acuáticas (jacintos)



Fig.03 pozas para tratamiento de aguas residuales con plantas acuáticas (lenteja de agua).