



## PLANTA DE TOTORA EN HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL

**Marco Javier Palacios Carvajal<sup>1</sup>**  
Universidad Nacional de Chimborazo  
jpalacios@unach.edu.ec

**Dolores Amada Gualli Bonilla<sup>2</sup>**  
Universidad Nacional de Chimborazo  
dguall@unach.edu.ec

**Mery Rossana Manzano Cepeda<sup>3</sup>**  
Universidad Nacional de Chimborazo  
mmanzano@unach.edu.ec

Para citar este artículo puede utilizar el siguiente formato:

Marco Javier Palacios Carvajal, Dolores Amada Gualli Bonilla y Mery Rossana Manzano Cepeda (2020): "Planta de totora en humedal artificial de flujo subsuperficial", Revista Caribeña de Ciencias Sociales, ISSN 2254-7630 (septiembre 2020). En línea: <https://www.eumed.net/rev/caribe/2020/09/planta-totora.html>

### RESUMEN

Actualmente es importante optimizar el uso del agua, por ello, es de vital importancia que una vez utilizada sea tratada para su reutilización. Existen distintos procesos convencionales para el tratamiento de las aguas residuales para lograr retirar contaminantes y llegar incluso a la potabilización de esta. Los humedales son tecnologías verdes que utilizan energía natural que no causa contaminación, son ampliamente utilizadas a nivel internacional, lo que dio lugar a realizar la presente investigación en la Universidad Nacional de Chimborazo carrera de Ingeniería Civil, en Ecuador. El principal objetivo de nuestra investigación fue determinar el comportamiento de las plantas de totora (*Schoenoplectus californicus*) durante el proceso de tratamiento de las aguas servidas, dentro de un humedal artificial. Metodológicamente se contó con un registro del caudal de entrada y salida del humedal, al mismo tiempo se midió las alturas de las plantas de totora al inicio, en la mitad y al final de cada lecho, esto se realizó para los dos lechos que son parte del humedal. Durante el funcionamiento del humedal se observó que en los dos lechos el crecimiento de las plantas de totora fue diferente, además se explica

<sup>1</sup> Máster en Gestión Ambiental, Diplomado en Desechos Sólidos, Ingeniero Civil. Coordinador del Plan de Contingencia CONESUP – UNACH, Docente en la Escuela de Ingeniería Civil, Miembro del directorio de la Cámara de Construcción de Riobamba, Planificación Estratégica en la Gestión Pública, Instituto Nacional de Administración Pública (República Dominicana). Consultor en varias instituciones.

<sup>2</sup> Química, Máster en Ciencias Químicas, Máster en Gestión Académica Universitaria, Diplomado en Docencia Universitaria, Docente de las Carreras de Ingeniería Industrial y Ambiental. Publicación de Revista Perfiles "Boxplots y media móvil: métodos sencillos de interpretación de series temporales de precipitación en la cuenca del Pastaza"; Publicación de Revista AQUA-LAC "Análisis de tendencia en la precipitación anual (1964 – 2011) en la cuenca del Pastaza-Ecuador" Publicación Capitulo de libro III Congreso Internacional Educación contemporánea, calidad y buen vivir "Agresividad y concentración de las precipitaciones en la cuenca del río Pastaza en Unach-Ecuador".

<sup>3</sup> Magister en Matemática Aplicada mención Simulación Numérica, Doctora en Matemática, Docente de la Carrera de Ingeniería Ambiental, Publicación de Revista Perfiles "Boxplots y media móvil: métodos sencillos de interpretación de series temporales de precipitación en la cuenca del Pastaza"; Publicación de Revista AQUA-LAC "Análisis de tendencia en la precipitación anual (1964 – 2011) en la cuenca del Pastaza-Ecuador"; Publicación Capitulo de libro III Congreso Internacional Educación contemporánea, calidad y buen vivir "Agresividad y concentración de las precipitaciones en la cuenca del río Pastaza en Unach-Ecuador".

que se ha denominado humedal 1 como lecho de lijado y al humedal 2 como lecho de pulido. Como resultado final respecto al crecimiento de las matas de totora de los dos lechos del humedal se determinó que en lecho 1 existe mayor crecimiento de la totora con respecto al lecho 2.

**Palabras claves:** Humedal, totora, caudales, agua residual, taponamiento.

## ABSTRACT

Currently, it is essential to optimize the use of water; therefore, it is of vital importance that once the water has been used, it has been treated for reuse. There are different conventional processes for the treatment of wastewater to remove pollutants and even make it drinkable. Wetlands are green technologies that use natural energy that does not cause pollution; they are worldwide used, which led to the present investigation at the National University of Chimborazo, Civil Engineering Department, in Ecuador. The main objective was to determine the cattail plants (*Schoenoplectus californicus*) behaviour within an artificial wetland during the wastewater treatment. Methodologically, input and output flow of the wetlands were recorded; simultaneously the height of reed plants was measured at three sites (start, middle and at the end of the bed). The process was done for two beds that are part of the wetland. During the operation of the artificial wetland, it was observed that in the two beds the growth of the reed plants was different, it is also explained that it has been called wetland #1 as sanding bed and wetland #2 as polishing bed. As a result regarding the growth of the reed tufts of the two beds of the wetland, it was determined that in bed #1 there was more significant growth of the reed concerning bed #2.

**Key words:** Wetland, Reed, flows, residual water, plugging.

## 1. INTRODUCCIÓN

En la Escuela de Ingeniería Civil se construyó un humedal artificial subsuperficial ubicado en las coordenadas geográficas (wgs 84), Norte: 9817377, Este: 762403; el clima es muy variado, debido a la presencia de la cordillera de los Andes y a los vientos que soplan y la cercanía al volcán Chimborazo; la ciudad de Riobamba está ubicada a 2.754 metros sobre el nivel del mar. La temperatura promedio es de 14° C. Las más altas temperaturas registradas corresponden al mediodía con 25°C a 27°C, para el análisis del comportamiento del humedal que está bajo un sistema vivo, en él interactúan los organismos biológicos contenidos en las aguas residuales, bajo esta consideración se describe los elementos que van a estar como parte del sistema en su funcionamiento, y estos son: raíces de las plantas de *Schoenoplectus californicus*, los áridos y la velocidad del agua circula dentro del humedal, el sistema en su funcionamiento se ha llegado a establecer que existen taponamientos en los dos lechos que conforman el humedal debido al crecimiento de las raíces; a pesar de las razones indicadas existe un proceso de purificación de las aguas negras.

En esta publicación mencionaremos el control del crecimiento de la vegetación superficial en este caso matas de totora, de la cual se realizó el cuidado y cortado de la misma; también se tomó datos diarios de caudales de entrada y salida de las aguas residuales al inicio y al final para comprobar el comportamiento del humedal.

La depuración por medio de humedales es una técnica innovadora, de reciente desarrollo, completamente limpia y ecológica, combina un sistema de depuración natural, subterránea por goteo, para cualquier tipo de agua residual de naturaleza orgánica, con la generación de áreas verdes sobre la superficie del humedal, desarrollándose ambas en perfecta armonía.

Esta técnica representa varias ventajas como bajos costos de implantación y mantenimiento, debido a la sencillez de los elementos constructivos y a los bajos consumos energéticos. Esta tecnología patentada tiene una de sus principales aplicaciones en el tratamiento de aguas residuales urbanas de pequeños núcleos de población.

Las aguas negras son resultado de procesos de descarga de inodoros y lavamanos. En comparación con las aguas grises, las aguas negras poseen una alta carga de nutrientes y

materia orgánica. Sus características varían principalmente según la fuente de donde provengan, del estilo de vida y costumbres de los usuarios, de la calidad de abastecimiento de agua y del tipo de red de distribución que tenga.

El concepto del uso de los sistemas de Humedales Artificiales plantados con vegetación propia de los humedales naturales empezó hace más de 50 años en Alemania; Shi, Zhang, Liu, Zhu, & Xu (2011) observó que la flora común era capaz de reducir gran cantidad de sustancias orgánicas e inorgánicas existentes en aguas contaminadas. Por otro lado, observaron Shi, Zhang, Liu, Zhu, & Xu (2011) que determinadas bacterias coliformes, salmonella y enterococos desaparecían pasando a través de la plantación de arenas y la eliminación de metales pesados e hidrocarburos.

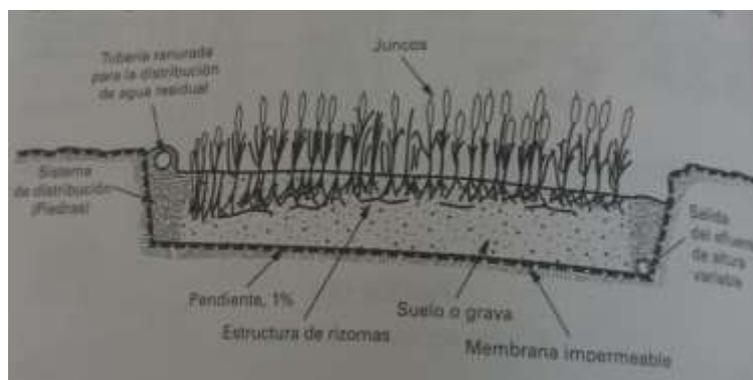
Sin embargo, se puede decir que la investigación en las décadas de los 70 y los 80, los estudios se basaban en los procesos de tratamiento del agua que ocurren en la zona de la raíz del carrizo común (*Phragmites australis*) y en el suelo en el que las plantas crecen. La principal utilización de los humedales Artificiales fue como estaciones de depuración de aguas residuales urbanas. Pero es a partir de la década de los 90 cuando los Humedales Artificiales, además de los usos mencionados, se han utilizado con éxito en el tratamiento de distintas aguas residuales industriales (Barbier, Acreman, & Knowler, 1997).

En la actualidad, en muchos pueblos, las plantas de tratamiento ya no cumplen sus objetivos por obsolescencia y/o por mayor carga debido a la actividad industrial. El construir nuevas plantas de depuración o el conectarse plantas lejanas ya existentes implica un elevado coste, con lo que conectar las antiguas plantas con humedales artificiales puede ser una alternativa económica y ecológicamente aceptable, ya que este tipo de sistemas son de construcción fácil, bajo costo, mantenimiento reducido y con una depuración confiable, incluso cuando hay altas variaciones en el caudal (Chafloque & Guadalupe, 2006).

Los humedales construidos son un complejo ecosistema constituido de substrato saturado, vegetación, microorganismos y agua, cuyo objetivo es la remoción de contaminantes mediante diversos procesos físicos, químicos y biológicos. Estos sistemas se clasifican en flujo superficial o subsuperficial según la circulación del agua a través de un medio granular. En humedales de flujo superficial el agua está expuesta directamente a la atmósfera, con vegetación emergente y suelo impermeabilizado (Neiff, 1997).

En los humedales de flujo subsuperficial la circulación del agua es subterránea a través de un medio poroso que puede ser arena o grava, las plantas se siembran en la superficie y las aguas residuales atraviesan de forma horizontal o vertical el lecho filtrante. En este tipo de humedales al no encontrarse el agua expuesta, se evita la cría de mosquitos y malos olores (Arias I. & Brix, 2003).

Los principales componentes de un humedal artificial se exponen en la figura 1.



**Figura 1. Sección transversal de un sistema subsuperficial**

Tomado: (Metcalf & Eddy, 2000)

Este procedimiento para el tratamiento del agua es muy sencillo y su funcionamiento se basa en filtros naturales como el granular y el biológico, está dado por la participación de las plantas

al extraer materia orgánica y nutriente. Adicionalmente, es interesante tener en cuenta que es posible la remoción de agua por efecto de evapotranspiración a lograr con las plantas y las condiciones del sitio (Silva, A.S. & Zamora, 2005).

Su sistema se basa en colocar en la entrada, una tubería con perforaciones a todo lo ancho de la sección para procurar una descarga uniforme de flujo. En el otro extremo se coloca también una tubería con ranuras en el fondo, dispuesta a recoger el agua que viene por toda la sección transversal (Silva, A.S. & Zamora, 2005).

Este canal colocado abajo permite conducir el agua por medio de otro ducto cerrado hacia arriba, hasta la altura conveniente. La posición del fondo de la tubería de entrada siempre debe estar más alta que el nivel o posición del ducto de salida. Esto permite el gradiente hidráulico requerido para que haya flujo. El agua ya tratada que se obtiene al final de este proceso no está 100% purificada, pero ya tendrá una muy buena calidad como para ser utilizada en otras actividades (Neiff, 1997).

Actividades como riego de jardines y áreas verdes, principalmente durante la época seca y uso en servicios sanitarios o lavado de autos, por ejemplo. Así como, si esa agua tratada se deja correr por caños o ríos ya causará menos daños al ambiente (Sanz, 2006)

En los humedales crecen y se desarrollan diferentes tipos de vegetales, animales y microorganismos adaptados a estas condiciones de inundaciones temporales o permanentes. En este tipo de ecosistema se desarrollan también determinados procesos físicos y químicos capaces de depurar el agua ya que eliminan grandes cantidades de materia orgánica, sólidos en suspensión, nitrógeno, fósforo e incluso productos tóxicos (Neiff, 1997).

La totora es una hierba perenne, de escaso porte, fasciculada, con raíces fibrosas, el tallo es erecto, liso, acostillado, sin presentar tuberosidades en la base y las hojas de la sección inferior presentan vainas foliares carentes de láminas; las superiores las desarrollan ocasionalmente. Las flores son hermafroditas; el perianto tiene entre 2 y 6 escamas. Los estambres son tres, y los estilos dos. Los frutos son aquenios lenticulares, biconvexos y transversalmente rugosos (Heiser, 1979).



**Figura 2. Totora en Humedal artificial**

En la figura 2. Se indica el comportamiento de crecimiento de las pantas de totora (*Schoenoplectus californicus*) en el humedal artificial ubicado en la provincia de Imbabura Ecuador. Parte de la experiencia en la ejecución de la construcción de este por parte de uno de los autores del artículo en ejecución (Palacios, 2015).

La población de la ciudad de Otavalo, Ecuador, son los pioneros en la utilización de esta planta para la fabricación de varios artículos desde bolsas hasta esteras que utilizan como cama o mantel, con el pasar del tiempo en otras provincias como Chimborazo y Cotopaxi han desarrollado técnicas nuevas para el uso de la totora (Macia & Balslev, 2000).

En la figura 3. Se indica la elaboración de artículos artesanales en la cual se usa la planta de totora la que puede provenir del humedal artificial después del corte de la planta.

Totora Sisa es una empresa que trabajaba con la fibra de totora desde hace muchos años en su comunidad, haciendo lo de siempre: tejer canastos, esteras; en la actualidad se realizan mobiliarios de alta calidad con precios muy accesibles, pero sobre todo con un impacto ambiental muy bajo (Banack, Rondón, & Díaz-Huamanchumo, 2004).



Figura 3. Producción de cestos con totora

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización de esta investigación se obtuvo la muestra de agua residual tomando caudales de ingreso y salida del humedal artificial para verificar si este cumple su función.

El sistema estuvo compuesto por un tanque séptico de PVC y dos lechos del sistema denominados lecho de lijado y lecho de pulido, los dos contenían plantas de totora.

Las dimensiones de cada lecho tenían una longitud de 5.00 metros de largo por 1.00 metro de ancho y una profundidad de 0.80, llenos por áridos de diámetro de 3/4 de pulgada hasta una altura de 0.60 metros y una capa de árido de 0.10 metros de un diámetro de 1/4 de pulgada, la gradiente del piso de cada lecho fue del 1%, los lechos fueron recubiertos con geomembrana.

La toma de caudales se realizó siguiendo el protocolo a continuación descrito:

- Caudal de entrada
  - Se obtuvo de la caja de revisión de hormigón la misma que está colocada al inicio del humedal artificial y se registró su volumen.
  - Se repitió el procedimiento dos veces para cada muestreo.
- Caudal de salida
  - Para la determinación del caudal de salida se procedió a tomar la muestra en el final del humedal en un pozo de revisión de la red del sistema de alcantarillado, registrando el volumen y el tiempo de salida del caudal.
  - El proceso se repitió dos veces para cada muestreo.



#### Figura 4. Aforo del caudal de entrada y salida

En la figura 4. Se indica el proceso de recepción en la caja de revisión, en la segunda parte muestra el humedal por el cual esta circulando el agua a tratarse y la tercera parte indica la descarga al pozo de revisión, la misma que conecta al sistema de alcantarillado sanitario.

Para realizar el control de crecimiento de la totora se realizó las consultas respectivas a personal que conocen de cerca el cultivo de la planta de totora y también se tomó en cuenta la opinión de la población que utiliza estos materiales en la provincia de Chimborazo, los cuales manifestaron que la planta de totora se corta cada seis meses y que asimismo es el tiempo de maduración, lo que permite su regeneración más rápida y una planta de mejor calidad para que la mata progrese normalmente.

Este procedimiento donde se indica el corte de la totora tanto del lecho 1 y el corte del lecho 2 y se muestra en la figura 5.



**Figura 5. Lecho del humedal antes del corte y lechos del humedal posterior al corte**

Además, como parte de la investigación también, se realizó un control del crecimiento de la planta de totora, como se muestra en la figura 6.



**Figura 6. Control del crecimiento de la planta de totora**

- Control del crecimiento de la planta de totora
  - Se tomó los datos del lecho 1 y del lecho 2 durante cinco días por semana y en un periodo de cuatro semanas consecutivas.
  - En cada lecho se tomó la medida de crecimiento de cada planta de totora, una lectura al inicio del lecho que se indica con la letra (I) otra lectura en la parte intermedia del lecho y señalado con la letra (M), otra lectura al final del lecho señalado con la letra (F).
  - El proceso se repitió para los dos lechos denominados con el número 1 lecho de lijado y como 2 lecho de pulido.

## Nomenclatura de Muestras

I= Mata tomada en la parte del inicio del lecho

M= Mata tomada en la parte intermedia del lecho

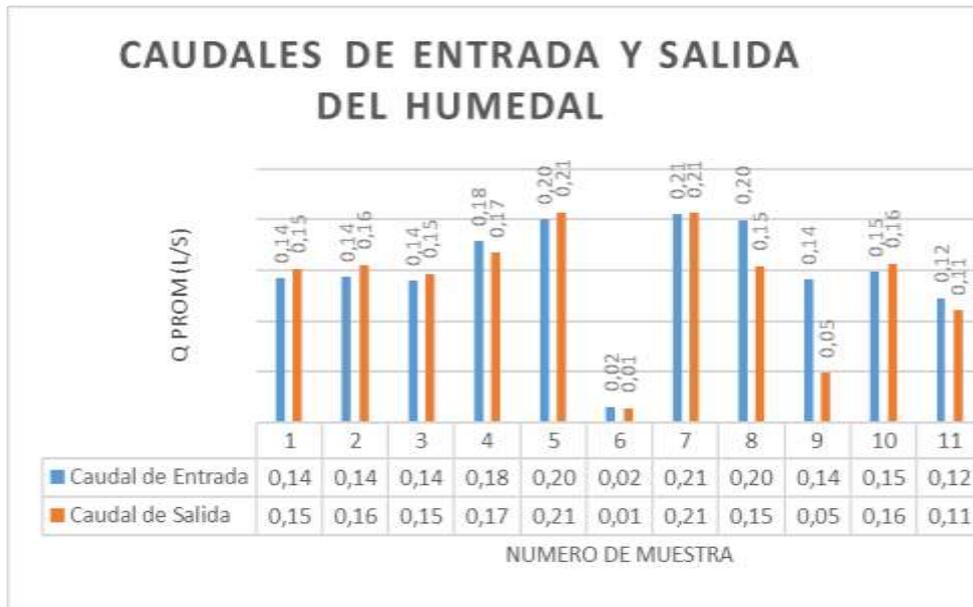
F= Mata tomada en la parte final del lecho

**3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

La toma de caudales de entradas y salidas en el humedal se realizó durante los meses de mayo, junio y julio y para ello se efectuó un análisis de datos que se muestran en la tabla 1.

**Tabla 1 Caudales de entrada y salida del humedal**

Muestra	Fecha	Caudal de Entrada				Caudal de Salida			
		Volumen (l)	Tiempo (s)	Caudal (l/s)	Q prom (l/s)	Volumen (l)	Tiempo (s)	Caudal (l/s)	Q prom (l/s)
1	19-may. 16:00 horas	2.00	13.89	0.14	0.14	1.50	9.72	0.15	0.15
		2.10	14.16	0.15		1.70	11.23	0.15	
		1.90	14.06	0.14		2.10	14.06	0.15	
2	26-may. 16:00 horas	2.20	13.90	0.16	0.14	1.60	9.56	0.17	0.16
		2.00	14.00	0.14		1.69	11.00	0.15	
		1.80	13.95	0.13		2.00	13.83	0.14	
3	9-jun. 16:00 horas	1.80	12.90	0.14	0.14	1.40	9.39	0.15	0.15
		1.90	13.40	0.14		1.60	10.58	0.15	
		1.80	13.10	0.14		1.60	11.50	0.14	
4	10-jun. 16:00 horas	2.80	14.50	0.19	0.18	2.00	11.90	0.17	0.17
		2.40	14.00	0.17		2.10	12.10	0.17	
		2.50	14.60	0.17		2.00	12.40	0.16	
5	23-jun. 15:30 horas	2.50	10.71	0.23	0.20	2.50	10.71	0.23	0.21
		2.00	10.90	0.18		2.00	11.03	0.18	
		2.00	10.90	0.18		2.00	9.63	0.21	
6	27-jun. 11:15 horas	0.30	19.88	0.02	0.02	0.25	18.56	0.01	0.01
		0.35	20.59	0.02		0.29	19.23	0.02	
		0.30	20.42	0.01		0.26	18.77	0.01	
7	30-jun. 14:15 horas	2.30	12.10	0.19	0.21	2.70	12.50	0.22	0.21
		2.40	11.49	0.21		2.50	12.07	0.21	
		2.80	12.95	0.22		2.40	12.25	0.20	
8	14-jul. 11:00 horas	1.50	9.40	0.16	0.20	1.50	9.87	0.15	0.15
		1.80	11.35	0.16		1.60	10.36	0.15	
		2.00	7.13	0.28		1.70	10.83	0.16	
9	16-jul. 17:30 horas	1.00	7.62	0.13	0.14	0.50	10.36	0.05	0.05
		1.50	10.22	0.15		0.80	15.26	0.05	
		1.50	10.33	0.15		0.50	10.87	0.05	
10	21-jul. 9:00 horas	2.15	14.27	0.15	0.15	2.25	14.26	0.16	0.16
		2.18	14.29	0.15		2.23	14.37	0.16	
		2.02	14.13	0.14		2.20	14.02	0.16	
11	22-jul. 9:00 horas	1.35	10.28	0.13	0.12	1.25	10.26	0.12	0.11
		1.28	10.24	0.13		1.10	10.18	0.11	
		1.12	10.11	0.11		1.05	10.35	0.10	



**Figura 7. Resumen de curvas de caudales de entrada y salida del humedal**

Los datos presentados en la tabla 1 son mostrados en forma gráfica en la figura 7 para facilitar su interpretación.

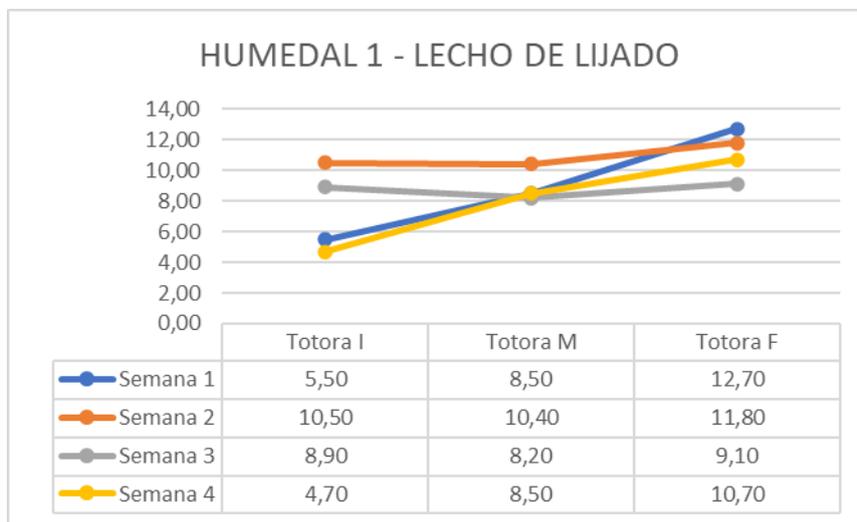
Se enseñan los caudales de entrada y salida del agua residual del humedal los mismos que fueron tomados durante el periodo de 3 meses, y las muestras fueron designadas numéricamente y estas fueron tomadas en tres ocasiones el mismo día con estos datos de caudales de entrada y salida se determinó un promedio de la muestra en ese día, la misma que la denominamos Q prom (l/s).

En la gráfica se observar que existe un caudal similar tanto en el caudal promedio de entrada y el caudal promedio de salida del humedal, sin embargo una muestra tubo excepción y esto ocurrió con la muestra novena ya que el caudal promedio de entrada fue 0.14 l/s versus el caudal de salida con un valor de 0.05 l/s a estos valores muy diferentes que ese día resultaron se tomó nota que existía una interrupción por que se notó un aforamiento de agua residual en la superficie del humedal en particular en el lecho de lijado denominado como lecho 1, esto nos hace presumir que el crecimiento de las raíces de las matas de totora están interrumpido el flujo normal dentro del humedal ya que estas matas funcionan como un sistema hidropónico.

En la muestra seis el caudal promedio de entrada con un valor de 0.02 l/s versus el caudal promedio de salida de 0.01 l/s son similares sin embargo con relación a las once muestras son muy diferentes los caudales de entrada y salida, anotamos ese día que se venía de un receso académico de 3 días y estos días hubo temperaturas altas y que además la muestra fue tomada un día lunes en la mañana y no entraba en uso la descarga diaria por lo tanto supusimos que no se encontraba con carga de caudal dentro del humedal.

**Tabla 2 Crecimiento de la totora en el lecho de lijado**  
**HUMEDAL 1 - LECHO DE LIJADO**

Semana	Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes		Crecimiento Total
	Medida Inicial	Progreso	Medida Tomada	Progreso							
1											
Totora I	7.00		7.50	0.50	8.60	1.10	11.00	2.40	12.50	1.50	5.50
Totora M	5.20		7.00	1.80	8.70	1.70	12.00	3.30	13.70	1.70	8.50
Totora F	7.10		11.00	3.90	13.30	2.30	17.40	4.10	19.80	2.40	12.70
2											
Totora I	21.80	9.30	24.00	2.20	27.20	3.20	29.50	2.30	32.30	2.80	10.50
Totora M	22.00	8.30	25.00	3.00	27.30	2.30	30.60	3.30	32.40	1.80	10.40
Totora F	28.50	8.70	31.00	2.50	34.60	3.60	37.20	2.60	40.30	3.10	11.80
3											
Totora I	43.00	10.70	44.10	1.10	46.10	2.00	48.00	1.90	51.90	3.90	8.90
Totora M	39.50	7.10	41.40	1.90	44.00	2.60	45.50	1.50	47.70	2.20	8.20
Totora F	47.30	7.00	49.20	1.90	52.70	3.50	54.00	1.30	56.40	2.40	9.10
4											
Totora I	62.80	6.40	65.50	2.70	66.00	0.50	66.40	0.40	67.50	1.10	4.70
Totora M	55.10	7.40	58.50	3.40	60.00	1.50	61.50	1.50	63.60	2.10	8.50
Totora F	60.40	8.50	63.60	3.20	65.30	1.70	66.80	1.50	71.10	4.30	10.70

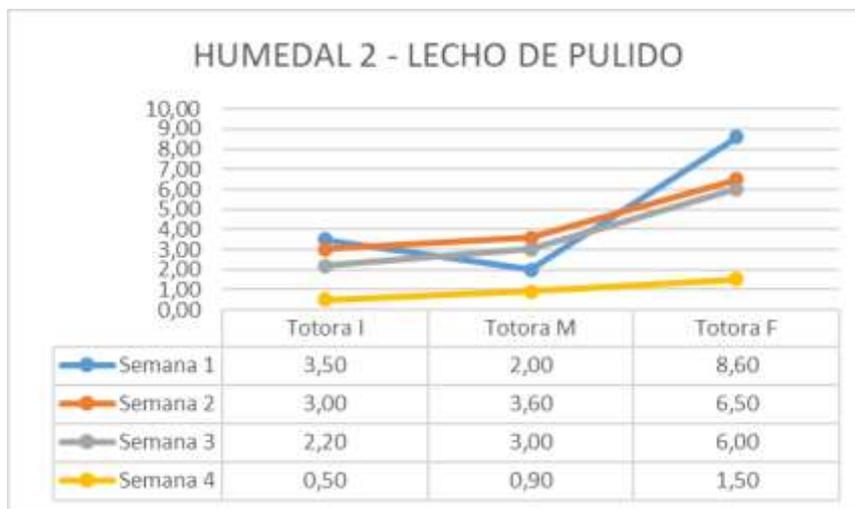


**Figura 8. Resumen de curvas del crecimiento en el lecho de lijado**

De las cuatro curvas que observamos en la figura 8 se indica que existe un crecimiento en la mata de totora tomada al inicio del lecho (I) en las cuatro semanas del periodo, igualmente un poco similar el crecimiento de la mata de totora tomada en la parte del medio del lecho (M) con relación a la mata (I), sin embargo, el mayor crecimiento fue la mata de totora tomada al final del lecho (F). Asimismo, se puede observar que el mayor desarrollo de las matas fue en la segunda semana para las tres matas analizadas (I), (M) y (F).

**Tabla 3 Crecimiento de la totora en el lecho de pulido**  
**HUMEDAL 2 - LECHO DE PULIDO**

Semana	Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes		Crecimiento Total
	Medida Inicial	Progreso	Medida Tomada	Progreso							
1											
Totora I	0.50		1.20	0.70	1.50	0.30	1.60	0.10	4.00	2.40	3.50
Totora M	2.00		2.80	0.80	3.60	0.80	3.80	0.20	4.00	0.20	2.00
Totora F	2.00		2.80	0.80	5.10	2.30	5.50	0.40	10.60	5.10	8.60
2											
Totora I	5.00	1.00	5.40	0.40	5.70	0.30	6.10	0.40	8.00	1.90	3.00
Totora M	5.00	1.00	5.10	0.10	5.40	0.30	6.50	1.10	8.60	2.10	3.60
Totora F	13.00	2.40	13.10	0.10	13.90	0.80	15.50	1.60	19.50	4.00	6.50
3											
Totora I	8.10	0.10	9.00	0.90	9.30	0.30	9.60	0.30	10.30	0.70	2.20
Totora M	8.70	0.10	9.20	0.50	9.30	0.10	9.60	0.30	11.70	2.10	3.00
Totora F	20.20	0.70	21.10	0.90	22.00	0.90	23.20	1.20	26.20	3.00	6.00
4											
Totora I	10.50	0.20	10.60	0.10	10.70	0.10	11.00	0.30	-	-	0.50
Totora M	12.20	0.50	12.80	0.60	12.90	0.10	13.10	0.20	-	-	0.90
Totora F	27.20	1.00	28.00	0.80	28.40	0.40	28.70	0.30	-	-	1.50



**Figura 9. Resumen de curvas del crecimiento en el lecho de pulido**

Se muestra cuatro curvas en la figura 9 de la cual se detalla que existe un crecimiento en la mata de totora tomada al inicio del lecho ( I ) en las cuatro semanas del periodo, así mismo se nota que los valores tomados son muy similares en el crecimiento de la mata de totora tomada en la parte del medio del lecho ( M ) con relación a la mata ( I ), a diferencia de la mata de totora tomada al final del lecho ( F ) que tiene un crecimiento mayor que las matas ( I ) y ( M ) en todo el periodo investigado..

#### 4. CONCLUSIONES

Se determinó que el humedal artificial trabaja de manera normal ya que se pudo comprobar que existió un caudal similar entre el caudal promedio de entrada y el caudal promedio de salida, aunque se notó agua residual aflorando en la superficie del lecho en la parte (F) del lecho 1 y creemos que es provocado por obstrucción provocada por aumento del crecimiento normal de las raíces de las matas de la planta de totora ya que el sistema de creciendo funciona en un medio hidropónico.

Se determina que en el lecho 1, existe diferencia marcada en el crecimiento de las matas de las plantas de totora tanto al inicio, en el medio y al final del lecho por tanto esto evidencia que el crecimiento de la raíz va a comportarse muy similar en el fondo del lecho advirtiéndose que el comportamiento no es similar en todo el lecho como se esperaba.

Se comprueba que igualmente en el lecho 2, existe diferencia de crecimiento de las matas de las plantas de totora sin embargo al inicio como en el medio del lecho el crecimiento es similar, pero al final del lecho es mayor y se ratifica el suceso del lecho 1 que el crecimiento de la raíz va a comportarse muy similar en el fondo del lecho.

Comparando los resultados del crecimiento de las matas de las plantas de totora entre los dos lechos del humedal se establece que en el lecho de lijado 1 existe una diferencia mayor crecimiento de las matas de totora cotejado con el lecho de pulido 2 del sistema, esto durante cada semana y en las 4 semanas de experimentación.

#### REFERENCIAS

- Arias I., C., & Brix, H. (2003). Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales Abstract. Ciencia e Ingeniería Neogranadina, (13), 17–24.
- Banack, S., Rondón, X., & Diaz-Huamanchumo, W. (2004). Indigenous cultivation and conservation of Totorá (<i>Schoenoplectus Californicus</i> cyperaceae) in Peru. Economic Botany, 58(1), 11–20. Retrieved from [http://dx.doi.org/10.1663/0013-0001\(2004\)058\[0011:ICACOT\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1663/0013-0001(2004)058[0011:ICACOT]2.0.CO;2)
- Barbier, E., Acreman, M., & Knowler, D. (1997). Valoración económica de los humedales. In Communications. <https://doi.org/2940073252>
- Chafloque, L., & Guadalupe, E. (2006). A design of an artificial marsh for treating wastewater in the UNMSM. Instituto de Investigaciones FIGMMG, 15(Tratamiento de aguas residuales), 96.
- Heiser, C. (1979). The Totorá (*Scirpus Californicus*) in. Economic Botany, 32(3), 222–236. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/4253952>
- Neiff, J. (1997). El régimen de pulsos en ríos y grandes humedales de Sudamérica. Project: Wetlands of South America: panoramic view, Orcyt-Unesco, 99 -149
- Macia, M. J., & Balslev, H. (2000). *Schoenoplectus Californicus*, Cyperaceae in Ecuador 1. Economic Botany, 54(1), 82–89.
- Sanz, J. M. (2006). Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales. Informe de vigilancia tecnológica, 30-40.
- Shi, Y., Zhang, G., Liu, J., Zhu, Y., & Xu, J. (2011). Performance of a constructed wetland in treating brackish wastewater from commercial recirculating and super-intensive shrimp growout systems. Bioresource Technology, 102(20), 9416–9424. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.07.058>
- Silva, A.S. & Zamora, H. D. (2005). Humedales artificiales (trabajo de grado). Facultad De Ingeniería Y Arquitectura. Manizales, Colombia. 1-100.