

# DETERMINACION DE PARAMETROS DE DISEÑO, PUESTA EN MARCHA Y EVALUACION DE LA EFICIENCIA DE HUMEDALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL EN LA PLANTA PILOTO AURORA II, PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS

Jeovany Miranda Castañón<sup>1</sup>  
Guatemala

**RESUMEN:** La investigación sobre humedales de flujo subsuperficial consistió en diseñar construir y evaluar el humedal, determinando parámetros de diseño, dimensiones, tiempo de retención hidráulica, área superficial óptima, elaboración de planos constructivos, posteriormente la etapa de construcción se realizó en la Planta Piloto "Ing. Arturo Pazos Sosa", la cual se desarrolló durante los meses de Febrero 2011 a Mayo del año 2011, utilizando como vegetación el Tul el cual se transportó de la laguna El Pino, se pudo comprobar que requirió un tiempo de un mes como periodo de adaptación y crecimiento. La evaluación se realizó a los dos meses de haberse sembrado el Tul alcanzando remociones del 63% para DBO5, 65% para DQO, 61% para Sólidos Suspendidos, 31% para Nitrógeno, y 30% en el Fósforo, con una relación de DBO5/DQO de 0.63 lo cual indica que la materia orgánica presente es muy biodegradable, y valores de pH arriba de 7.5. Se continuó con la evaluación durante los meses siguientes para conocer su comportamiento respecto al tiempo y los resultados demuestran que el sistema es eficiente en remoción de DBO5, DQO, Sólidos Suspendidos, y Nitrógeno total, con una alta eficiencia, no así en la remoción del fósforo. Después de 15 meses de estar en operación el humedal, la conclusión del estudio es que requiere un área por habitante equivalente de 1.5 m<sup>2</sup>, (1 habitante equivalente = 150 lts/hab/día). Según Mara y Pearson 1,998 para lograr la misma calidad de agua utilizando lagunas de estabilización se necesitan 2.5 m<sup>2</sup> como mínimo por habitante equivalente. Requiriéndose para este sistema una menor área por persona equivalente.

**PALABRAS CLAVE:** humedales; diseño de humedales; área superficial, tiempo de retención hidráulica, Aguas residuales; flujo subsuperficial.

**ABSTRACT:** The investigation on the flow of sub superficial humidity, consists on designing, building and evaluating a system which determines the parameters of design, dimensions, time of hydraulic retention, optimum superficial area, as well as the elaboration of constructive plans. After that the building phase began in the trial plant "Ing. Arturo Pazos Sosa" the building phase took us from February to May 2011, using as vegetation, tulle brought from lake el Pino, We found out that it took a period of 30 days for it to grow and adapt in that environment. two months after having planted the tulle The evaluation was made, we reached removals of up to 63% for DBO5, 65% for DQO, 61% for suspended solids, 31% for Nitrogen, and 30% for phosphorus. with a relation in DBO5/DQO of a 0.63 % which indicates it to be very biodegradable, it also indicated values of ph above 7.5. In the following months we continued with the evaluation in order to study its behavior in regards to time. and though the results show high efficiency in the removals of DBO5, DQO, suspended solids, as well as total nitrogen, it does not show the same results for the removal of phosphorus. In conclusion, after 15 months of the working of the wet land, it is considered that the area equivalent per habitant is of 1.5 m<sup>2</sup>, (1 habitant =150 lts/hab/day). In order to reach the same quality of water using stabilizing lakes 2.5 m<sup>2</sup> area required at minimum per habitant therefore requiring a lesser size area per person.

**Key Words:** Wetland, designing of the wetlands, superficial area, Timing of hydraulic retention, residual waters, subsuperficial flow.

## INTRODUCCIÓN:

Como alternativa a las técnicas convencionales de depuración se han desarrollado una serie de sistemas naturales que aprovechan y potencian los procesos de purificación que ocurren de forma espontánea en la naturaleza. Estos sistemas presentan un bajo costo de inversión y mantenimiento y se adaptan a las variaciones de caudales y cargas contaminantes. Los humedales artificiales de flujo subsuperficial constituyen un eficaz procedimiento de depuración, son considerados una tecnología económica para tratar aguas residuales urbanas, se caracterizan por su simplicidad de operación, baja producción de residuos, un bajo impacto ambiental sonoro, y una buena integración al medio ambiente rural. Los procesos que dominan el rendimiento de los humedales son: La dinámica microbial, y la hidrodinámica, siendo cruciales los procesos microbiales en la remoción

de nutrientes, logrando su eficiencia a través de la sedimentación, absorción y metabolismo bacterial, el agua pasa a través de un medio poroso generalmente grava, sembrada con plantas emergentes como vegetación siendo objeto del presente estudio el tul, para purificar el agua por remoción de materia orgánica, oxidación de amonio, reducción de nitrato y remoción de fósforo. Los mecanismos son complejos y comprenden la oxidación bacteriana, la filtración la sedimentación y la precipitación química debido a los microorganismos asociados a las raíces de la planta, esta información sobre el comportamiento del tul como vegetación, servirá de base para la adaptación de esta tecnología en nuestro medio.

## DESCRIPCION DEL ÁREA DE ESTUDIO:

La investigación del humedal de flujo subsuperficial, se realizó en la Planta Piloto de tratamiento de aguas residuales Aurora II, "Ing. Arturo Pazos Sosa" ubicada al final de la diagonal 26 20-56 zona 13. Al suroeste de la colonia Aurora II. 14 grados de

34'36" latitud Norte, 90 grados 32'12" Latitud Oeste, colinda a Sur y al Este con barrancos su altitud varía entre 1502 a 145 msnm en la parte más baja. Se ubica a 5 Km de la Escuela Ingeniería Sanitaria E.R.I.S.

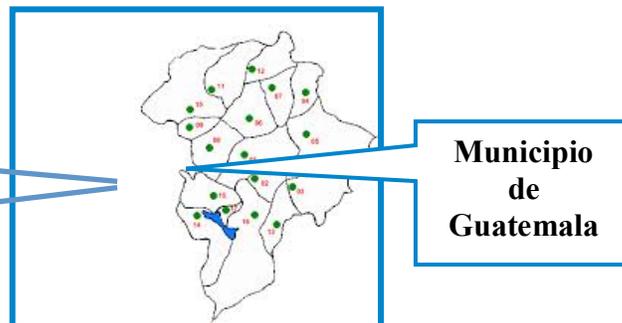
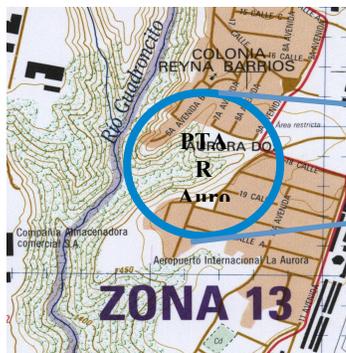


Figura 1. Localización del área de estudio.

## METODOLOGÍA.

La experiencia en otros países sobre modelos experimentales, las fórmulas generales y modelos previamente establecidos, fueron analizados y utilizados para establecer los parámetros de diseño del humedal de flujo subsuperficial, se utilizaron los modelos de Sherwood (1999), Cooper y Green (1995) así como textos publicados por la E.P.A. (Environmental Protection Agency) de los estados Unidos de América. En donde se establecen parámetros de diseño, se tomaron textos de literatura sobre modelos experimentales construidos, se comprobaron los tiempos de retención hidráulica con otros modelos y no se obtuvo mayor diferencia en cuanto a los resultados, en la etapa constructiva se tomaron las dimensiones establecidas en los planos y especificaciones técnicas de la construcción respetando la calidad de los materiales, y la geometría del diseño, alturas, espesores de pared, profundidad de agua, pendiente, el caudal de diseño fue de 0.014 l/s, los cuales fueron aforados por el método volumétrico, este aforo fue realizado en la entrada y salida del humedal, posteriormente se realizó la siembra del Tul, con seguimiento al proceso de adaptación, crecimiento de la vegetación, especialmente al desarrollo del tallo la cual llegó a una buena altura en los primeros veinte días después de la siembra, habiendo obtenido un buen desarrollo vegetativo del pasto referente al vigor, a dos meses de la siembra se tomaron varias muestras puntuales en diferentes épocas, las cuales fueron analizadas en el laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria "Alba Tabarini Molina" de la Escuela Regional De Ingeniería Sanitaria E.R.I.S. y en el Laboratorio de "Ecosistemas" los parámetros analizados en las muestras colectadas son los designados por el método de índices de Calidad de Agua: demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, pH, sólidos suspendidos, Nitrógeno Total, Fosforo y coliformes totales, los análisis se realizaron sobre la base del Standard Methods for

the Examination of Water and Wastewater, de la America Public Health Association (APHA), American Water Work Association (AWWA) Y Water environment federation (1998), para la cuantificación bacteriológica propiamente en el laboratorio se utilizó el método de tubos múltiples de fermentación (NMP/100ml). Con los resultados obtenidos se calculó la eficiencia del sistema, utilizando la fórmula de calidad de entrada menos la calidad de salida dividido la calidad de entrada multiplicado por cien para establecer el porcentaje de eficiencia del humedal, esta misma fórmula se utilizó para establecer la eficiencia en remoción de la DBO5, DQO, Sólidos

Suspendidos, Nitrógeno Total y Fosforo, Aceites y Grasas, el monitoreo se consideró necesario realizarlo en época seca lluviosa para conocer la variación de la eficiencia y también la variación de la concentración del agua residual que llega al humedal.

### Descripción de los humedales de flujo subsuperficial

Están constituidos por un lecho que contiene un medio apropiado, el nivel de agua se mantiene por debajo de la superficie del medio de grava, los componentes del sistema son los siguientes: agua residual, substrato, vegetación, microorganismos. El proceso de purificación ocurre durante la trayectoria del agua residual cuando entra en contacto con una cadena de zonas aeróbicas, anóxicas y anaeróbicas, las zonas aeróbicas están alrededor de las raíces y los rizomas de las plantas. Estas plantas tienen la habilidad de pasar el oxígeno hasta lo más profundo a través de las estructuras de las hojas y el tallo hacia el interior de los rizomas y fuera a través de las raíces. Esto explica que en el área alrededor de los rizomas la población de bacterias es mucho mayor que en otros puntos del humedal de flujo subsuperficial construido.

## Procesos de remoción

Los mecanismos de remoción predominantes en los humedales construidos se muestran en la

Tabla 1 Mecanismos

Mecanismos de remoción predominantes en un humedal	
Tipo de sustancia	Mecanismos de transformación.
Sólidos suspendidos	Sedimentación-filtración
Nitrógeno	Amonificación seguida por nitrificación biológica y demitritificación
Materia orgánica soluble	Degradación microbiana aeróbica y anaeróbica
Fósforo	Captación por la planta
Microorganismos patógenos	Sedimentación
	Filtración
	Radiaciones ultravioletas
	Muerte natural
	Excreción de antibióticos por las raíces de las plantas

Fuente: Rousseau 2,004

Tabla 2 Parámetros

Parámetros de Diseño.	Unidades	rango	valor utilizado
Tiempo de retención hidráulico	días	4-15	4
Profundidad del agua	m	0.3-0.76	0.6
Carga orgánica	kg/hab	? 0.67	0.56
Carga hidráulica	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d	0.014-0.017	0.015
Área específica	ha/10 <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> d	7.2-7.14	7.2

Fuente: Rousseau 2,004

Tabla 3 Características

Características típicas del medio					
Tipo del Medio	Máximo 10% del tamaño del grano mm	Porosidad (n)	Conductividad hidráulica Ks		K <sub>20</sub>
			pie <sup>3</sup> /pie <sup>2</sup> d	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d	
Arena media	1	0.42	1380	420.62	1.84
<b>Arena gruesa</b>	<b>2</b>	<b>0.39</b>	<b>1575</b>	<b>480.06</b>	<b>1.35</b>
Arena grava	8	0.35	1640	499.87	0.86

Fuente: Rousseau 2,004

Tabla 4 Plantas

Plantas acuáticas emergentes.			
Nombre comun	Nombre científico	Rango de pH efectivo	Temperatura en °C deseable
Totora	Typha spp	4-10	10-30
Junco	Juncus spp	4-9	18-27
Tul	Typha spp	4-10	12-25

Fuente: Rousseau 2,004

**DISEÑO:**

Para la construcción del modelo se tomó en consideración las unidades de pre-tratamiento, tales como canal de entrada, rejillas, canasta y trampa de grasa, posteriormente se diseñó un tanque primario para el proceso de sedimentación para luego distribuir por medio de tuberías perforadas a las

unidades del humedal de flujo sub-superficial, la vegetación, tiempos de retención hidráulica, porosidad de la arena, profundidad del agua, gradiente hidráulico, relación largo ancho, temperatura, calidad del agua de entrada y calidad del agua en la salida esperada, y caudal de diseño.

Tabla 5 Parámetros

Parámetros de diseño utilizados			
Nombre	unidades	rango	valor utilizado
Caudal de diseño	l/s	–	0.014
Porosidad	n	–	0.39
Tiempo de retención hidráulica	d	4-15	4
Profundidad del agua	m	0.3-76	0.6
Carga orgánica	kg/hab	? 0.67	0.5
Carga hidráulica	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d	0.014-0.0017	0.015
Área específica	ha/10 <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> d	7.2-7.14	7.2
Gradiente hidráulico	%	0.5-2	0.5
Separacion del Tul	cm	0.25-0.60	0.5
Relacion largo ancho	–	2:1-10:1	4:1
Arena gruesa	K <sub>20</sub>	calcular	1.35
K <sub>T</sub>	20 °C	calcular	0.52
Temperatura	°C	15-25	10
DBO <sub>5</sub> entrada	mg/l	300-450	350
DBO <sub>5</sub> salida	mg/l	50-100	50

Fuente: Rousseau 2,004

$$A_s = LW = \frac{Q \ln(C_o / C_e)}{(K_T)(y)(n)}$$

**Ejemplo de Cálculo:**  
Estimación del área Superficial.

Modelo Reed, Sherwood C.

Donde:

$C_e$  = Concentración de DBO en el efluente,  
mg/l

$C_o$  = Concentración de DBO en el afluente,  
mg/l

$K_T$  = Constante de primer orden dependiente  
de la temperatura,  $d^{-1}$

$n$  = Porosidad del sistema (espacio disponible  
para el paso del agua) como fracción  
decimal

## CONSTRUCCIÓN.

El proceso constructivo del humedal, se realizó tomando como base toda la parte hidráulica analizada y los planos construidos para el efecto, tomando en cuenta las dimensiones previamente determinadas en el cálculo para cumplir con los requisitos hidráulicos del humedal, en esta etapa se consideró la siembra de la vegetación, la cual se transportó desde la laguna El Pino, la cual se encuentra a una distancia aproximada de 48 kilómetros de la Ciudad de Guatemala sobre la carretera Interamericana CA-1 hacia el Salvador, pertenece al Municipio de Barberena departamento de Santa Rosa. Previo a sembrar el tul se preparó un compost de tierra negra con abono orgánico para que existiera una reacción y crecimiento de bacterias y permitiera una mejor adaptación del tul en una cama de 10 centímetros en combinación con arena gruesa y material granular. El proceso de trasplante duró aproximadamente dos horas hasta la nueva siembra de manera que el tul no sufriera un proceso de secado, la separación entre cada planta fue de 50 centímetros para permitir su futuro crecimiento.

$Q$  = Caudal promedio en el sistema,  $m^3/d$   
 $y$  = Profundidad del humedal.

$$A_s = \frac{1.2 \ln(350 / 50)}{(0.83)(0.6)(0.39)}$$

$$A_s = 12.02 m^2$$

Calculo del Tiempo de retención hidráulica  $t$

$$\frac{C_e}{C_o} = \exp(-K_T t)$$

$$t = -\ln(C_e / C_o) / K_T$$

$$t = -\ln(50 / 350) / 0.52$$

$$t = 3.74 \text{ dias}$$

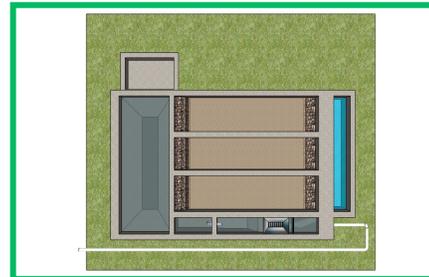


Figura 2. Planta general del humedal subsuperficial



Figura 3. Fotografía del humedal subsuperficial

## EVALUACIÓN.

El proceso de evaluación se realizó tomando varias muestras puntuales, las primeras muestras se tomaron dos meses después de haberse sembrado el Tul, con el propósito de verificar la eficiencia en un tiempo de arranque corto y se pudo comprobar que la eficiencia obtenida fue del 63% en remoción de DBO<sub>5</sub>, 65% en remoción de DQO, 61% en remoción de sólidos suspendidos, 38% en remoción de Nitrógeno Total y 31% en remoción de Fósforo Total, se pudo observar que la concentración de contaminantes presentes en las aguas residuales son variables según el mes en que se tomaron las muestras, debido a que en la entrada principal llega caudal combinado, en invierno hay dilución y en verano los resultados demuestran que hay mayor concentración de contaminantes, la concentración en invierno es medio y en verano existe una concentración alta.

**Tabla 6** Resultados del monitoreo de calidad de agua en la entrada y salida del humedal de flujo subsuperficial.

AÑO	2 0 1 1			2012				
MES	JUN	SEP	NOV	ENE	FEB	MAR	JUN	AGO
Fecha	02-jun-11	12-sep-11	15-nov-11	23-ene-12	28-feb-12	30-mar-12	12-jun-12	20-ago-12
Hora	9:00 AM	11:30 AM	8:00 AM	8:30 AM	9:30 AM	11:45 AM	8:00 AM	8:30 AM
	ENTRADA							
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO <sub>5</sub>	372.00	350.00	380.00	390.00	375.00	390.00	360.00	370.00
* Demanda Química de Oxígeno DQO	592.00	450.00	470.00	525.00	580.00	620.00	595.00	580.00
* Sólidos Suspendidos	160.00	140.00	175.00	168.00	162.00	170.00	155.00	150.00
Nitrógeno Total	45.00	40.00	50.00	55.00	52.00	58.00	42.00	45.00
Fósforo Total	7.80	8.60	7.70	7.80	7.60	8.50	7.70	7.50
* Zinc Zn	0.11	0.10	0.12	0.11	0.14	0.15	0.11	0.10

AÑO	2 0 1 1			2012				
MES	JUN	SEP	NOV	ENE	FEB	MAR	JUN	AGO
	SALIDA	SALIDA	SALIDA	SALIDA	SALIDA	SALIDA	SALIDA	SALIDA
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO <sub>5</sub>	135.00	115.00	150.00	118.00	90.00	65.00	50.00	55.00
* Demanda Química de Oxígeno DQO	207.00	180.00	207.00	202.00	125.00	90.00	85.00	88.00
* Sólidos Suspendidos	63.00	40.00	63.00	55.00	35.00	20.00	18.00	20.00
Nitrógeno Total	28.00	15.00	22.00	14.00	8.00	5.00	4.00	5.00
Fósforo Total	5.40	3.00	4.00	2.40	4.00	4.50	4.40	5.00
* Zinc Zn	0.05	0.06	0.06	0.04	0.08	0.07	0.06	0.06

**Tabla 7** Resultados del monitoreo en la salida del humedal

### Cálculo de la eficiencia.

Después de un año y medio de monitoreo, se pudo comprobar que el humedal con un tiempo de retención hidráulico de 4 días, mantuvo a los seis meses de haberse sembrado un promedio

en la eficiencia de remoción de DBO<sub>5</sub>, DQO, sólidos suspendidos y Nitrógeno total del 80%, en cuanto a la remoción de fosforo; la eficiencia fue menor al 50%.

Tabla 8. Eficiencia del humedal de flujo subsuperficial en las diferentes épocas del año

AÑO	2 0 1 1			2012					
	MES	JUN	SEP	NOV	ENE	FEB	MAR	JUN	AGO
Fecha									
Hora									
	EFICIENCIA								
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO <sub>5</sub>	63.71%	67.14%	60.52%	69.74%	76.00%	83.33%	86.11%	85.14%	
* Demanda Química de Oxígeno DQO	65.03%	60.00%	55.96%	61.52%	78.45%	85.48%	85.71%	84.83%	
* Sólidos Suspendidos	60.63%	71.43%	64.00%	67.26%	78.40%	88.23%	88.38%	86.67%	
Nitrógeno Total	37.78%	62.50%	56.00%	74.55%	84.61%	91.37%	90.47%	88.89%	
Fósforo Total	30.77%	65.12%	48.05%	69.23%	47.37%	47.06%	42.86%	33.33%	
* Zinc Zn	54.55%	40.00%	50.00%	63.64%	42.86%	53.33%	45.45%	40.00%	

Tabla 9. Determinación de la relación DBO<sub>5</sub>/DQO, en las diferentes muestras

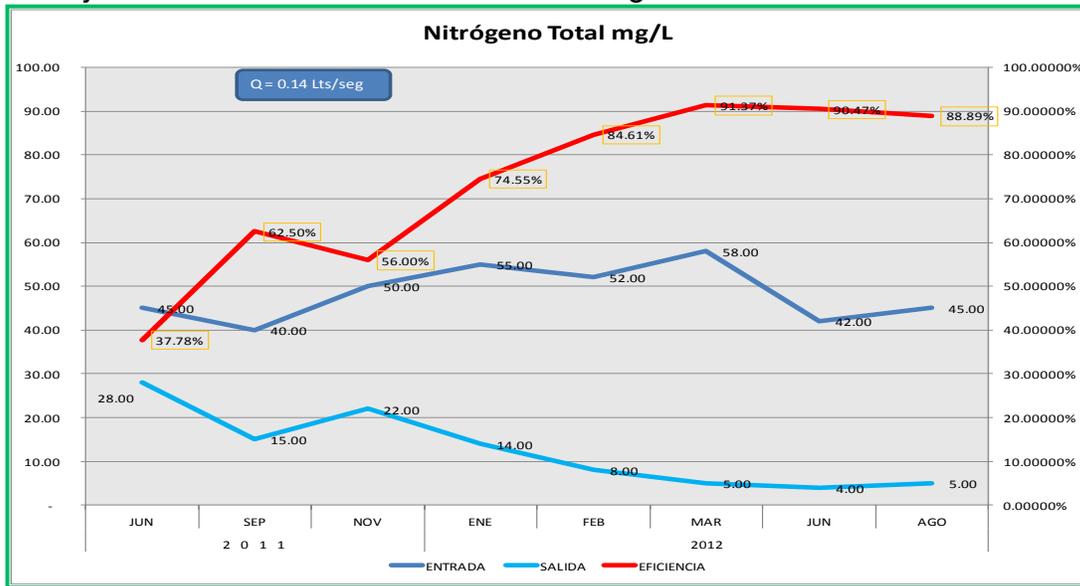
	2 0 1 1			2012				
	JUN	SEP	NOV	ENE	FEB	MAR	JUN	AGO
RESULTADOS OBTENIDOS	02-jun-11	12-sep-11	15-nov-11	23-ene-12	28-feb-12	30-mar-12	12-jun-12	20-ago-12
<b>RELACION DBO<sub>5</sub>/DQO</b>	0.63	0.78	0.81	0.74	0.65	0.63	0.61	0.64
Poco Biodegradable ≤ 20								
Biodegradable 0.20 - 0.40								
Muy Biodegradable ≥ 0.40	X	X	X	X	X	X	X	X

## RESULTADOS:

Tomando en cuenta los parámetros de diseño se pudo establecer que el gradiente hidráulico de diseño fue del 0.5%, con una relación largo ancho 4:1, profundidad del agua de 60 centímetros, caudal de diseño 0.014 l/s, arena gruesa con una porosidad de 0.39, vegetación utilizada Tul, tiempo de retención hidráulica 4 días, la construcción se realizó con paredes de mampostería habiéndose aplicado un alisado final en toda la estructura con espesor de pared de 15 centímetros, tubería perforada de 4" para distribuir el caudal, en la entrada se construyó un rejilla con canasta, canal de entrada, desarenador, trampa de grasa, tanque de sedimentación primario, y la tubería que distribuye al humedal, se construyeron tres cámaras de humedales con un área de cuatro metros cuadrados cada una, para hacer un total de doce metros cuadrados y mantener la relación 4:1 establecida en el diseño, el espesor de compost para la siembra fue de 10 centímetros y la altura combinada con la arena gruesa de 40 centímetros, para dejar los 10 centímetros para la colocación de piedra bola en una altura

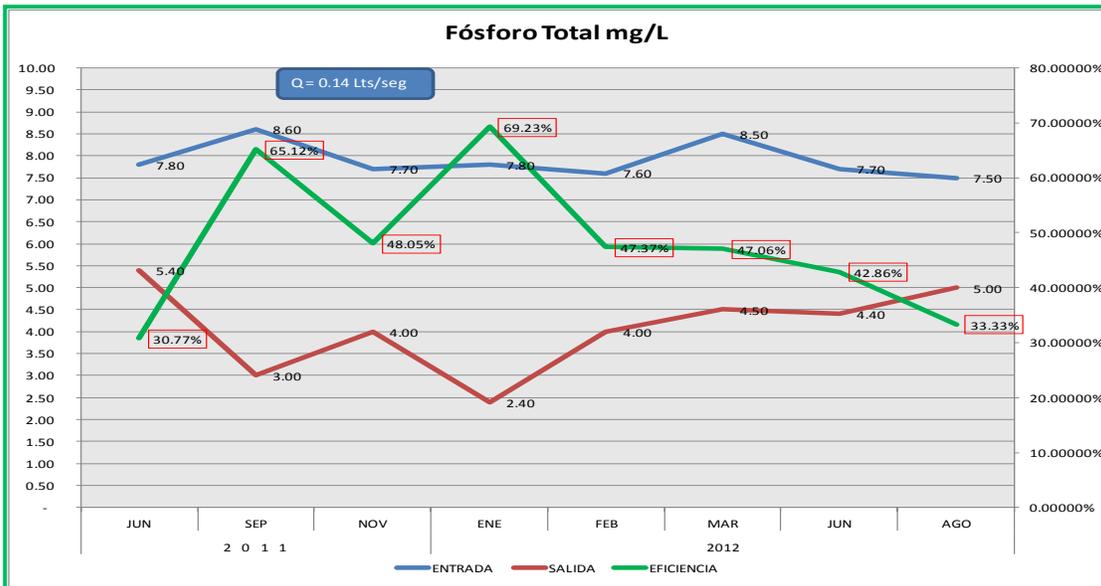
de 10 centímetros sobre el nivel de agua, para evitar acumulación de mosquitos, y contaminación de olor y contacto con las personas. En el proceso de evaluación se obtuvo una concentración del agua residual muy cerca de una concentración fuerte, con resultados del agua bruta arriba de 350 mg/l DBO<sub>5</sub>, y una DQO mayor de 500 mg/l, al realizar el análisis para determinar si la misma es o no biológicamente tratable se pudo establecer que todos los valores en la relación DBO<sub>5</sub>/DQO es mayor a 0.4 por lo tanto el agua residual es muy Biodegradable. La eficiencia presentada en los dos primeros meses se considera alta y aceptable en la remoción de la DBO<sub>5</sub>, DQO, Sólidos suspendidos, nitrógeno y fósforo, la eficiencia fue mayor al 60%, y en remoción del nitrógeno fue superior al 35%, en cuanto al fósforo su eficiencia fue superior al 30%, posteriormente el sistema llegó a un 80% en remoción de materia orgánica, y alcanzó niveles del 85% en remoción del nitrógeno, sin embargo los resultados de eficiencia del fósforo fueron de un 35% como valor promedio.

Grafica 1 porcentaje de eficiencia en la remoción de nitrógeno



Q=0.014 l/s

Grafica 2 porcentaje de eficiencia en la remoción de fósforo



Q=0.014 l/s

## ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Los resultados correspondientes a la remoción de materia orgánica utilizando como medio poroso arena gruesa, funcionando con un tiempo de retención hidráulica de 4 días, se puede ver su comportamiento en la grafica de resultados, donde se puede apreciar que la eficiencia de remoción del humedal aumentó hasta lograr una eficiencia muy pareja después del periodo de arranque, se pudo determinar que la eficiencia del sistema estuvo en función del tiempo, sin embargo en la remoción del fósforo se pudo determinar que a dos meses no presentó mayor eficiencia en su remoción, luego de año y medio su remoción fue muy variada, lo anterior indica que el tiempo de retención hidráulica de cuatro días es suficiente para lograr buenas eficiencias, todo lo anterior reafirma que el medio poroso, la vegetación y el tiempo de retención hidráulica desempeñan un papel fundamental en los sistemas con flujo subsuperficial con datos aceptables, se analiza que el tiempo de retención hidráulico considerado es aceptable para los resultados obtenidos.

## CONCLUSIONES

El diseño responde adecuadamente al comportamiento previsto, siendo una tecnología válida para depurar aguas residuales como tratamiento secundario o terciario, el Tul como vegetación en los humedales de flujo subsuperficial es una planta eficiente para el tratamiento de aguas residuales domésticas, considerándose una tecnología viable de bajo costo, con mínimo mantenimiento pues no requiere de trabajo permanente ni personal calificado para su operación y mantenimiento. La dimensión de las celdas para el diseño del humedal en la planta Aurora II, con una relación 4:1 es aceptable, para la influencia del régimen hidráulico y la resistencia del flujo dentro del sistema. Las ecuaciones utilizadas en este estudio pueden ser una herramienta valiosa para otros diseños para condiciones de Guatemala utilizando los rangos anteriormente establecidos. Las eficiencias obtenidas en cuanto a la remoción de materia orgánica son satisfactorias. Los humedales no constituyen un método efectivo para la eliminación de fósforo, de acuerdo con Korkusuz (2004), esta situación podría mejorar si se utiliza grava rica en hierro y aluminio. Los procesos para remoción de nitrógeno alcanzan niveles altos de eficiencia, debido a que los compuestos nitrogenados constituyen nutrientes claves para el crecimiento de seres vivos y la planta utiliza el nitrógeno en la síntesis de proteínas para su crecimiento especialmente en forma de nitrato.

## BIBLIOGRAFÍA

- Metcalf y Eddy.(1991) Ingeniería de las aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización. 3 ed. México: Editorial McGraw-Hill 1996 1459 pp
- Crities, Ron y Tchobanoglous George. Tratamiento de las aguas residuales en pequeñas poblaciones. Colombia:Editorial McGraw-Hill, 2000 739 pp
- U.S. Environmental Protection Agency, Desing Manual Constructed wetlands and aquatic plant systems for municipal wastewater treatment, EPA, 1988.
- Romero, Rojas Jairo Alberto (1999) "Tratamiento de aguas residuales para lagunas de estabilización" Editorial Alfaomega U.S. EPA/Environmental Protección Agency, Región 6. Guía para el diseño y construcción de humedal de flujo subsuperficial.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda que en posteriores estudios la muestra sea tomada en forma compuesta para verificar si existe o no alguna variación con respecto a los resultados obtenidos, y continuar con el monitoreo del sistema, también es muy importante recomendar una investigación para conocer la eficiencia en remoción de coliformes totales y fecales dado a que en otro estudios se ha observado la reducción de coliformes fecales hasta en un 95%, continuar con las actividades de operación y mantenimiento adecuadas para el correcto funcionamiento del sistema, también es recomendable que se realicen estudios para el análisis de reutilización del efluente según lo permita la legislación vigente.