

ESTUDIO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES COMPLEMENTARIO, CON PASTO VETIVER (*VETIVERIA ZIZANIOIDES* L.), PROVENIENTES DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE GASEOSAS, EN VILLA DE CURA, ESTADO ARAGUA”.

Mónica Scavo¹, Oscar Rodríguez¹ y Oswaldo. Luque²

¹Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía. monicascavo@yahoo.com,

¹Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, rodriguez@agr.ucv.ve , ,

²Proyecto Vetiver Fundación Polar oluque1@cantv.net

Palabras clave: Tratamiento de aguas residuales, fitorremediación. tiempo de residencia

RESUMEN

El presente trabajo tiene por objetivo estudiar el tratamiento complementario de aguas residuales con pasto vetiver, a pequeña escala, mediante la caracterización y comparación de los niveles de los parámetros de calidad en los afluentes y efluentes del sistema de tratamiento, bajo diferentes condiciones de manejo con y sin vetiver y el establecimiento del Tiempo de residencia equivalente (Tr) (20, 15, 10 y 5 días) asociados a diferentes Velocidades de flujo (Vf) (30, 40, 60 y 120 L día⁻¹) conformando los tratamientos 1, 2, 3 y 4 respectivamente. El modelo físico constó de 5 tanques interconectados en secuencia para cada condición de manejo. El ensayo se llevó a cabo en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de PepsiCola, en Villa de Cura, estado Aragua.

Se realizó una evaluación estadística descriptiva de los datos y se compararon con investigaciones similares. Los resultados mostraron que en el sistema vetiver para los indicadores DBO y DQO, se obtuvo una eficiencia de remoción de 96,86% y 98,07% en el tratamiento 1. El PT se absorbió en 62,05% en el tratamiento 2. Los ST, alcanzaron la mayor tasa de remoción en el tratamiento 2, con 78,3%; y los SS en el tratamiento 4 con 87,5%. No se evidenció ninguna diferencia importante entre los sistemas con vetiver y sin vetiver; ni entre los tratamientos, en las variables Cloruros y Conductividad eléctrica. La mayor eficiencia en la estabilización de pH fue en el tratamiento 1. De manera global el mejor comportamiento se logró con el tratamiento 2, cuando se comparó con la PTAR de PepsiCola.

Del Análisis Químico de tejido, realizado al Pasto vetiver, al finalizar cada tratamiento, se concluyó que los tratamientos 1 y 2 favorecieron la absorción de Nitrógeno y Fósforo; y los tratamientos 3 y 4 la absorción de Potasio y Sodio.

INTRODUCCIÓN

Hoy en día el medio ambiente se ve afectado por una gran carga de contaminantes, proveniente de todos los procesos que lleva a cabo el ser humano para facilitar su desarrollo y manutención. La mayoría de las industrias vierten sus residuos a las redes de alcantarillado municipales que luego van a dar a los lagos y cursos de agua, ocasionando su degeneración progresiva. Este problema se ha tratado de solucionar implementando una serie de normativas y reglamentos que regulen la descarga de estos efluentes, para así minimizar en parte los daños que causan.

En muchos casos, llevar estas aguas a niveles tolerables y no contaminantes y así cumplir con las normativas establecidas, es un proceso muy costoso, tanto por los equipos empleados, como por el grado de tratamiento que requieren. Una manera de minimizar estos costos es usando métodos menos sofisticados, que sean económicos, prácticos y más ecológicos, como lo es la fitorremediación; el uso de plantas terrestres o plantas acuáticas para el tratamiento de aguas residuales.

En esta experiencia se evaluará el comportamiento del pasto vetiver (*Vetiveria zizanioides* L.), en el tratamiento de aguas residuales provenientes de los procesos industriales de una planta de producción de gaseosas, y de esta manera contribuir a mejorar de manera natural y sencilla los procesos de depuración de las aguas.

MATERIALES Y METODOS

1. UBICACIÓN

El ensayo se realizó en terrenos de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de PepsiCola ubicada en Villa de Cura, Estado Aragua.

Se evaluó un modelo físico a escala, (foto 1) basado en el modelo (ADIC/VOCA) (www.vetiver.org/TVN-bonn03.pdf); instalando cinco (5) tanques, de 120 litros cada uno, interconectados entre sí; en los cuales se colocó una macolla de *Vetiveria zizanioides* L.; por cada tanque, podadas hasta una altura del follaje de 30 cms. La edad de las plantas fue de 9 meses de desarrollo aproximadamente, estas se establecieron en cada tanque mediante un sistema sencillo de flotación que constó de dos botellas plásticas de 1,5 L de gaseosa, sujetas a una rejilla plástica. Igualmente se instalaron cinco tanques expuestos a las mismas condiciones, pero sin las plantas de vetiver, estos sirvieron de tratamiento testigo. El agua residual provenía de un tanque buffer aforado de 6000 L de capacidad, el cuál fue llenado con efluentes industriales de la planta de producción de Gaseosas. Esta surtió al sistema con vetiver y al sistema sin vetiver, el tanque buffer contribuyó a establecer y mantener unas determinadas condiciones en las características del agua residual que entró al sistema con vetiver y al sistema sin vetiver, esto se logró refrescando esta mezcla semanalmente, para ello se midió Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Fósforo total (PT), Sólidos totales (ST) y Sólidos suspendidos (SS), Cloruros, Conductividad Eléctrica (CE), pH y Nitratos al efluente industrial.



Foto 1. Esquema del sistema de tratamiento de aguas residuales, con pasto vetiver; a pequeña escala, en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de PepsiCola CA. Modelo ADIC/VOCA modificado (www.vetiver.org/TVN-bonn03.pdf).

2.-FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA:

Se inició el ensayo con el tratamiento 1, Tiempo de residencia equivalente (T_r) = 20 días; Velocidad de flujo (V_f)= 30 L.día⁻¹. Esta cantidad 30 L.día⁻¹, fue vertida diariamente del tanque Buffer al sistema con vetiver y al sistema sin vetiver; mediante la dosificación manual.

En un inicio todos los tanques se encontraban llenos de agua limpia o de servicio, diariamente se fue desplazando este flujo de agua de un tanque a otro manteniéndose el nivel por el principio de vasos comunicantes; siempre la concentración de contaminantes fue mayor en el primer tanque que en el último.

Pasados 20 días se realizó la primera toma de muestras a la entrada y a la salida del sistema con vetiver y del sistema sin vetiver. Simultáneamente se tomaron muestras de agua en cada tanque, para determinar el gradiente de descontaminación, analizando cada uno de los indicadores de calidad de agua: Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Fósforo total (PT), Sólidos totales (ST) y Sólidos suspendidos (SS), Cloruros, Conductividad Eléctrica (CE), pH y Nitratos.

Los tratamientos siguientes se realizaron en forma similar al primero, sólo se cambió el tiempo de residencia y la velocidad del flujo (Ver Cuadro 2). Cada uno tuvo 4 mediciones respectivas.

Cuadro 1. Tratamientos.

Tratamiento	Sistema	Tiempo de residencia (T_r) (días)	Velocidad de flujo (V_f) (Ldía ⁻¹)
-------------	---------	---------------------------------------	--

T1	Con vetiver	20	30
	Sin vetiver		
T2	Con vetiver	15	40
	Sin vetiver		
T3	Con vetiver	10	60
	Sin vetiver		
T4	Con vetiver	5	120
	Sin vetiver		

Al pasto vetiver se le tomó una pequeña muestra antes de iniciar el experimento y al final de cada tratamiento, en cada tanque, para poder comparar su condición antes y después de ser sometido al tratamiento de aguas residuales; se realizó un análisis químico de tejidos tanto a la parte aérea como a la raíz, en el Laboratorio General del Instituto de Edafología, de la Facultad de Agronomía, UCV, Maracay. Los parámetros que se analizaron fueron: nitrógeno (N), calcio (Ca), y microelementos como sodio (Na), fósforo (P), potasio (K), siguiendo la metodología de mineralización por vía húmeda (Cottenie, *et al* 1982) para la preparación de la muestra, y las siguientes metodologías para los distintos parámetros a analizar.

Se tomaron muestras de agua en las entradas y en las salidas de los sistemas, para así poder determinar por medio de los indicadores de calidad de agua: DBO, DQO, PT, ST y SS, Cloruros, pH, Conductividad eléctrica y Nitratos, la eficiencia del sistema con vetiver, y poder comparar con el sistema sin vetiver.

Se tomaron muestras de agua en cada tanque, para así poder determinar el gradiente de descontaminación de los indicadores de calidad de agua: DBO, DQO, PT, ST y SS, Cloruros, pH, Conductividad eléctrica y Nitratos en los tanques.

3.-ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizó análisis estadístico descriptivo: promedio, desviación estándar, valor máximo y mínimo, coeficiente de variación y rango; a los valores obtenidos de DBO, DQO, PT, ST y SS, Cloruros, Conductividad eléctrica y Nitratos en cada uno de los tanques con vetiver y sin vetiver, en los distintos tratamientos con sus diferentes combinaciones de Tiempo de Residencia y velocidad de Flujo; al pH se le halló la concentración de iones de hidrógeno por medio del despeje de la fórmula de $\text{pH} = -\log [H^+]$; donde la $[H^+] = -\text{antilog pH}$; luego se promediaron estas concentraciones de H^+ ; al promedio obtenido en cada tanque de cada tratamiento se le volvió a calcular el valor de pH, de igual manera se calculó para este indicador valor máximo, valor mínimo y rango; y a los valores obtenidos del análisis químico de tejidos de nitrógeno (N), calcio (Ca), sodio (Na), fósforo (P), potasio (K), realizados al vetiver en los 4 tratamientos.

Para el cálculo de la eficiencia de remoción en DBO, DQO, PT, ST, SS, Cloruros, Conductividad eléctrica y Nitratos se utilizó el indicador:

Eficiencia de Remoción (%) = $[\text{contaminante de entrada} - \text{contaminante de salida}] / [\text{contaminante de entrada}] * 100$. Tomada del trabajo de investigación realizado por Lin *et al.*, (2003).

Y para los valores obtenidos de pH, se utilizó una variante del indicador anterior:

Eficiencia de Remoción (%) = $[\text{contaminante de entrada}] / [\text{contaminante de salida}] * 100$ (Shu, 2003).

RESULTADOS Y DISCUSION

1.-CONCEPTUALIZACION DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON PASTO VETIVER.

En nuestro ensayo con vetiver, las plantas contenidas en cada uno de los cinco tanques flotando sobre el agua residual; se comportan como reactores conectados en serie. Analizando, podemos observar que el primero de los tanques recibe el agua residual con la mayor concentración de contaminantes (DBO) y como consecuencia tendrá la mayor carga orgánica. El segundo tanque recibe agua con una concentración menor de contaminantes, por lo tanto la carga orgánica es menor que en el primer tanque, y así sucesivamente con el resto de los tanques. De aquí se desprende que en el primer tanque los tiempos de regeneración son más cortos y en el último tanque son más largos. La nitrificación se puede llevar a cabo generalmente en las últimas etapas, en las cuales las bacterias nitrificantes tienen tiempo suficiente para reproducirse.

Es común encontrar en la literatura que la nitrificación se encuentra asociada a bajas concentraciones de contaminantes orgánicos por tanto, valores bajos de DBO son condición para la nitrificación; esto es erróneo, la realidad es que la nitrificación se encuentra asociada a cargas orgánicas bajas las cuales, como consecuencia, producen efluentes con bajas concentraciones de contaminantes orgánicos (González, 1996).



Foto 2. Muestras de la primera repetición del Tratamiento 1 ($T_r=20$ días; $V_f=30$ $Ldías^{-1}$), en el sistema con vetiver (tanques 1 al 5) y sin vetiver (tanques 6 al 10).

2.-CARACTERIZACION DEL BUFFER.

Después de haber realizado análisis semanales al agua residual que alimentó tanto al sistema con vetiver como al sistema sin vetiver, se resumieron los valores obtenidos en el siguiente cuadro:

Cuadro 2. Valores promedio del Buffer, para cada tratamiento.

Tratamientos	ξ							pH
	DBO (mgL ⁻¹)	DQO (mgL ⁻¹)	ST (mgL ⁻¹)	SS (mgL ⁻¹)	PT (mgL ⁻¹)	Cloruros (mgL ⁻¹)	CE (USMC ⁻¹)	
T1	756,29	1512,58	1533,33	516,67	2,02	75,96	1120,50	4,69
T2	566,74	1133,48	2720	300	3,43	91,28	1278	5,65
T3	518,04	1036,09	685,00	600,00	1,00	99,02	1088,75	4,89
T4	257,01	514,02	1352,50	600,00	5,32	97,84	1278,75	5,31

El agua residual del buffer fue muy variable, debido a que las descargas de la empresa, dependían principalmente de los procesos que se estuvieran llevando a cabo ese día, tales como el tipo de refresco, el lavado ó aseo de las líneas de producción, el tipo de producto utilizado para el mantenimiento de los tanques de producción y otros .

3.- ANÁLISIS DE LOS INDICADORES FÍSICO Y QUÍMICOS EVALUADOS DURANTE LOS TRATAMIENTOS.

3.1-Demanda Biológica de Oxígeno (DBO):

Mongkon *et al*, (2003); en su trabajo sobre el manejo primario de aguas residuales de una comunidad, utilizando dos tipos de pasto vetiver, determinó que el pasto vetiver tiene alto potencial en remediación de aguas residuales, ya que los valores de DBO resultaron más bajos que los valores de DBO del tratamiento control sin pasto vetiver.

Cuando analizamos la eficiencia de remoción (figura 1), se puede inferir que para valores promedio del Buffer que oscilaron entre 756 y 250 mgL⁻¹ en los 4 tratamientos; la mejor eficiencia se evidenció en el tratamiento 1; que fue de 96,86 % en el sistema con vetiver y de 91,39 % en el sistema sin vetiver; seguida por el tratamiento 3, con eficiencias de 90,77 % y 37,85 % para los sistemas con vetiver y sin vetiver, respectivamente

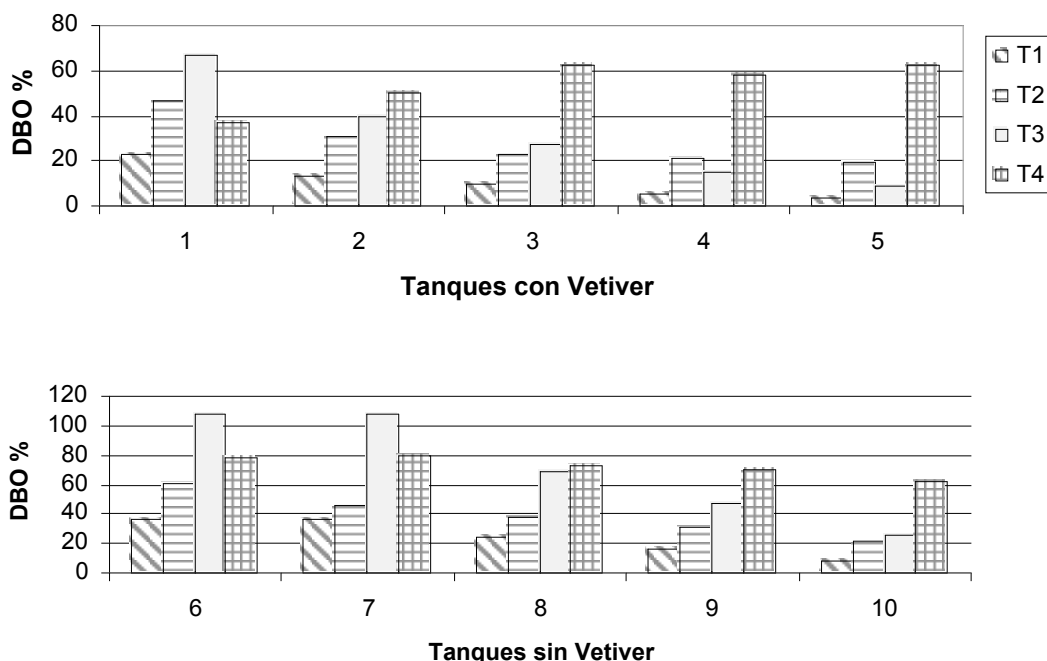


Figura 1. Valores porcentuales de DBO, para los cuatro tratamientos, en el sistema con vetiver y sin vetiver.

Estos resultados coinciden con investigaciones realizadas por Liao *et al*, (2003); donde señala que la tasa de remoción en vetiver para una DBO de 500 mgL^{-1} , fue de $68,66 \% \pm 1,22 \%$, en un tiempo de retención de 4 días, en contraste con el control dónde solo $59,9 \%$ de DBO fue removido. Según Njau *et al*, (2003); Las plantas acuáticas juegan un papel muy importante en el apoyo de procesos de remoción de DBO, estas actúan como bombas de oxígeno atmosférico, para luego descomponer microorganismo. Los demás tratamientos aún cuando no fueron los mejores, no dejan de estar por debajo del límite máximo permisible en la normativa ambiental (350 mgL^{-1}).

3.2-Demanda Química de Oxígeno (DQO):

En la figura 2 se presentan valores porcentuales de DQO. El tratamiento 1 tuvo una disminución de $98,07 \%$ para el sistema con vetiver y de $97,80 \%$ para el sistema sin vetiver, seguido por el tratamiento 3, con $90,7 \%$ y $74,86 \%$ de eficiencia de remoción, respectivamente; para unos valores promedio de DQO del Buffer, que oscilaban entre $1512,57$ y $514,02 \text{ mgL}^{-1}$.

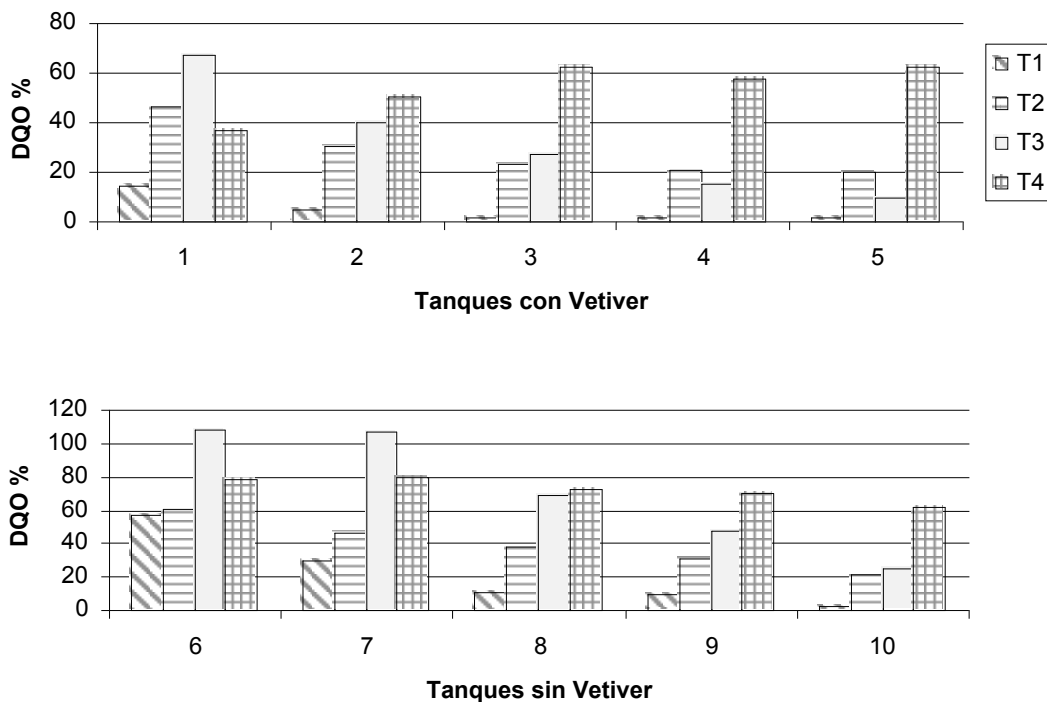


Figura 2. Valores porcentuales de DQO, para los cuatro tratamientos, en el sistema con vetiver y sin vetiver.

En el sistema sin vetiver, el tratamiento 1 es también sin duda el más eficiente, pero con la diferencia que esa disminución a valores mínimos de DQO ocurre en el último tanque (10), mientras que con vetiver se alcanzan esos niveles en el tercer tanque.

Si comparamos nuestros resultados con los obtenidos por Liao *et al.*, (2003) quién llevó a cabo un ensayo donde el pasto vetiver creció en aguas residuales de cochineras con DQO 825 mgL^{-1} , y demostró que el pasto vetiver disminuyó este índice 64%. Así mismo Xia *et al.* (2003); señaló que la tasa de remoción de DQO en agua residual altamente concentrada, después de 8 días de tratamiento fue de $49,4 \pm 6,6 \%$. Se desprende que los resultados logrados en nuestro ensayo fueron más eficientes ya que obtuvimos una tasa de remoción de DQO más alta, que la de estos investigadores.

3.3-Sólidos Totales (ST):

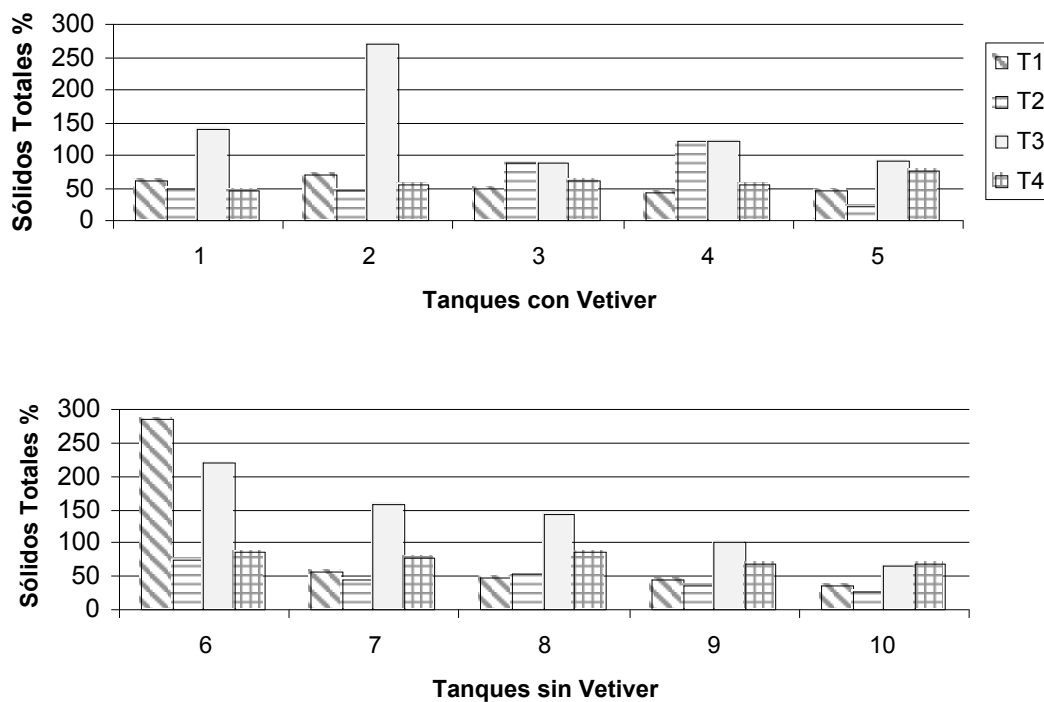


Figura 3. Valores porcentuales de Sólidos Totales, para cuatro tratamientos, en el sistema con vetiver y sin vetiver.

La figura 3 muestra que para un promedio en el tanque buffer que varió entre 2720 y 685 mgL^{-1} de sólidos totales la mayor tasa de remoción la alcanzó el tratamiento 2, con 78,3 % en el sistema con vetiver y 72,05% en el sistema sin vetiver.

Estos resultados concuerdan con la experiencia de Lin *et al*, (2003); donde sugieren que el pasto vetiver removió sólidos totales en una tasa de 57,02 %, más que aquellos substratos tratados sin pasto vetiver, en lechos de rellenos.

3.4-Sólidos Suspendidos (SS):

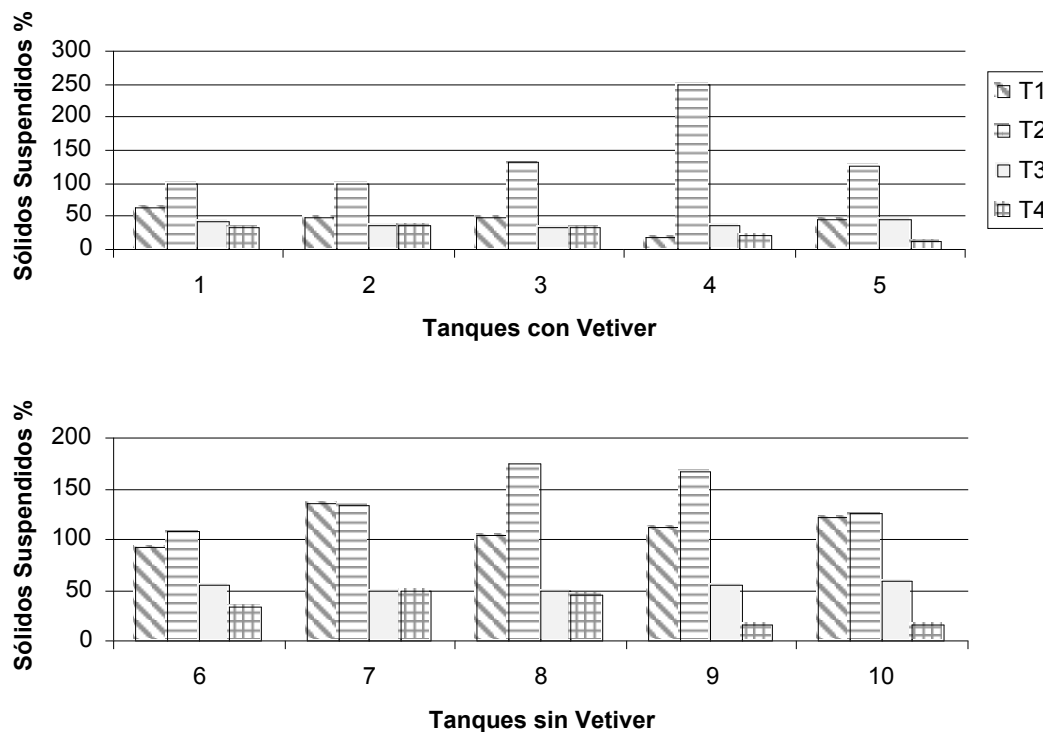


Figura 4. Valores porcentuales de Sólidos Suspendidos, para los cuatro tratamientos, en el sistema con vetiver y sin vetiver.

En la figura 4, se presentan valores porcentuales de sólidos suspendidos, se observa que el más eficiente en retención de sólidos suspendidos fue el tratamiento 4 con 87,5 % en el sistema con vetiver, en contraste con un 83,33 % del sistema sin vetiver; para un promedio de buffer entre 300 mgL^{-1} y 600 mgL^{-1} para los cuatro tratamientos. Podemos decir que mientras mas rápido se mueva el agua residual de un tanque a otro, las partículas de menor tamaño no tendrán la capacidad ni el tiempo suficiente de decantar. Comparando nuestros resultados con los obtenidos por Njau *et al*, (2003); nos damos cuenta de que estos fueron similares; el demostró que en una célula plantada con pasto vetiver, la remoción de sólidos suspendidos de aguas residuales provenientes de la industria textil fue de 81,42 %.

3.5-Fósforo Total (PT):

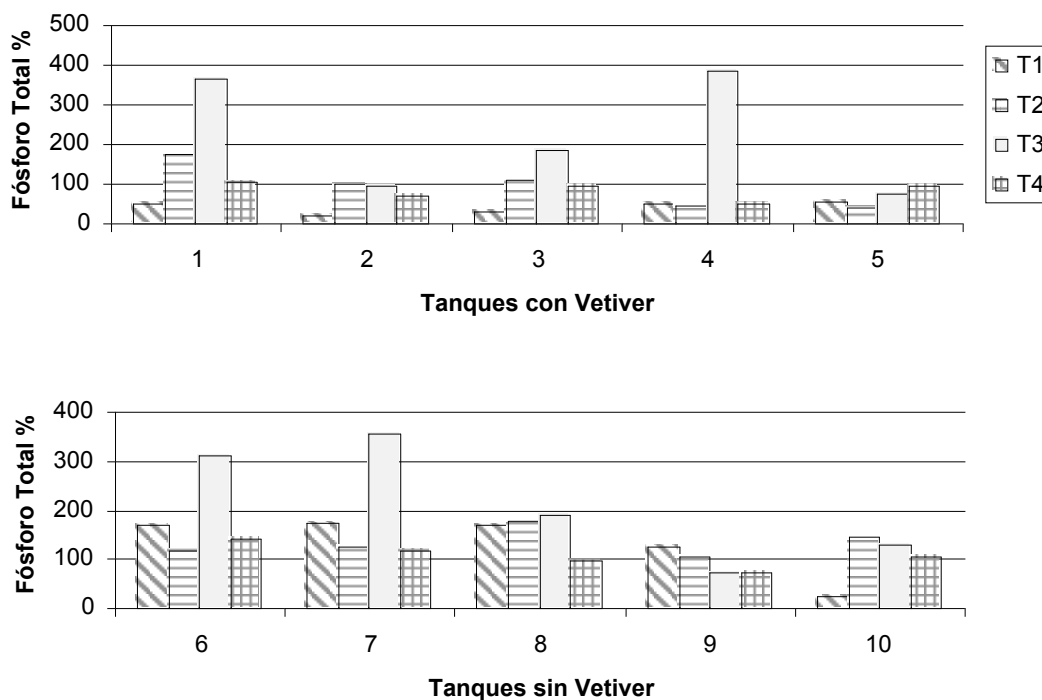


Figura 5. Valores porcentuales de Fósforo Total, para los cuatro tratamientos, en el sistema con vetiver y sin vetiver.

En la figura 5, Valores porcentuales de Fósforo Total, se observa que para valores promedios de PT en el tanque buffer entre $0,99$ y $5,31 \text{ mgL}^{-1}$, se obtuvo una eficiencia de absorción de fósforo de $62,05 \%$ en el tratamiento 2 en el sistema con vetiver, siendo negativa para el sistema sin vetiver dónde los valores no presentaron ninguna variación; debido a que no había ningún organismo que lo asimilara. Es notable comentar que en este sistema hubo un crecimiento numeroso de algas, las cuales se encontraban adheridas a las paredes de los tanques. En el sistema con vetiver, en el tratamiento 3, apreciamos un pico en el cuarto tanque; este puede estar asociado a los sólidos solubles que se van acumulando a través del sistema. Estos resultados son superiores a los obtenidos por Truong, (2003); en una prueba realizada para evaluar el pasto vetiver en diferentes substratos, en lechos de rellenos, donde señala que después de 75 días el pasto vetiver removió $17,44 \%$ de fósforo total; y coinciden con los obtenidos por Kong *et al*, (2003); en un estudio de la purificación de agua residual proveniente de una granja de cerdos, donde el vetiver mostró una capacidad entre 59 y 85% para extraer fósforo del agua residual.

3.6-pH:

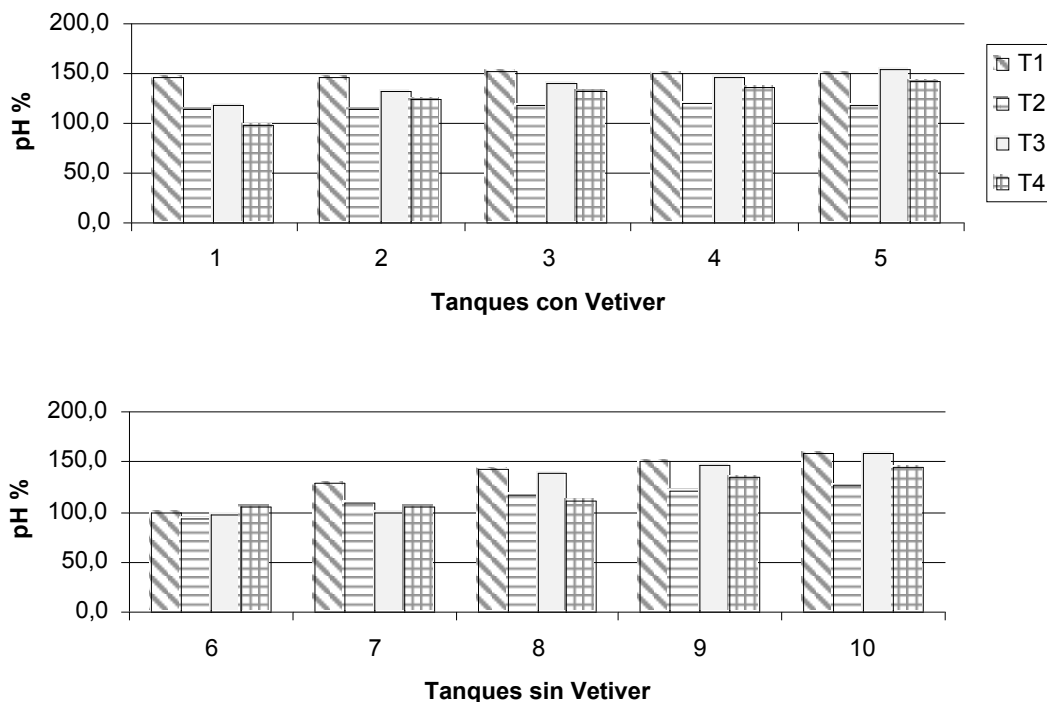


Figura 6. Valores porcentuales de pH, para los cuatro tratamientos, en el sistema con vetiver y sin vetiver.

Observamos en la figura 6 los valores porcentuales de pH; que en el sistema con vetiver se obtuvo la mayor eficiencia de estabilización en el tratamiento 2, siendo de 83,95 % en contraste con el sistema sin vetiver dónde esta eficiencia fue de 78,53 %.

Cabe señalar que en el sistema con vetiver en el tratamiento 1, se consiguió, la estabilización del pH desde el tanque número uno y se mantuvo hasta la salida del efluente de dicho sistema; comportamiento que no ocurrió en el mismo tratamiento sin vetiver.

3.7-Nitratos:

En la figura 7 se presentan valores porcentuales de Nitratos, observamos que para valores promedio entre 24,75 y 31,97 mgL^{-1} de nitratos en el agua residual, el sistema con vetiver presentó una eficiencia de remoción de nitratos de 2,47 % para el tratamiento 3 y de 3,19 % para el tratamiento 4. En el sistema sin vetiver se observa el mismo comportamiento, así que no podemos atribuir este resultado a la presencia de la planta en el sistema de tratamiento.

A pesar de no existir diferencias entre ambos sistemas en nuestro ensayo, cuando revisamos los trabajos de Liao *et al*, (2003), encontramos que la remoción de nitratos por vetiver aumenta gradualmente en el tiempo; para este caso la tasa de remoción fue de $19,89 \pm 3,85$ % en un tiempo de retención hidráulica de 4 días; así mismo demostró que las concentraciones de nitrato decrecían a través del experimento para ambas especies *Vetiveria zizanioides* y *Cyperus alternifolius*.

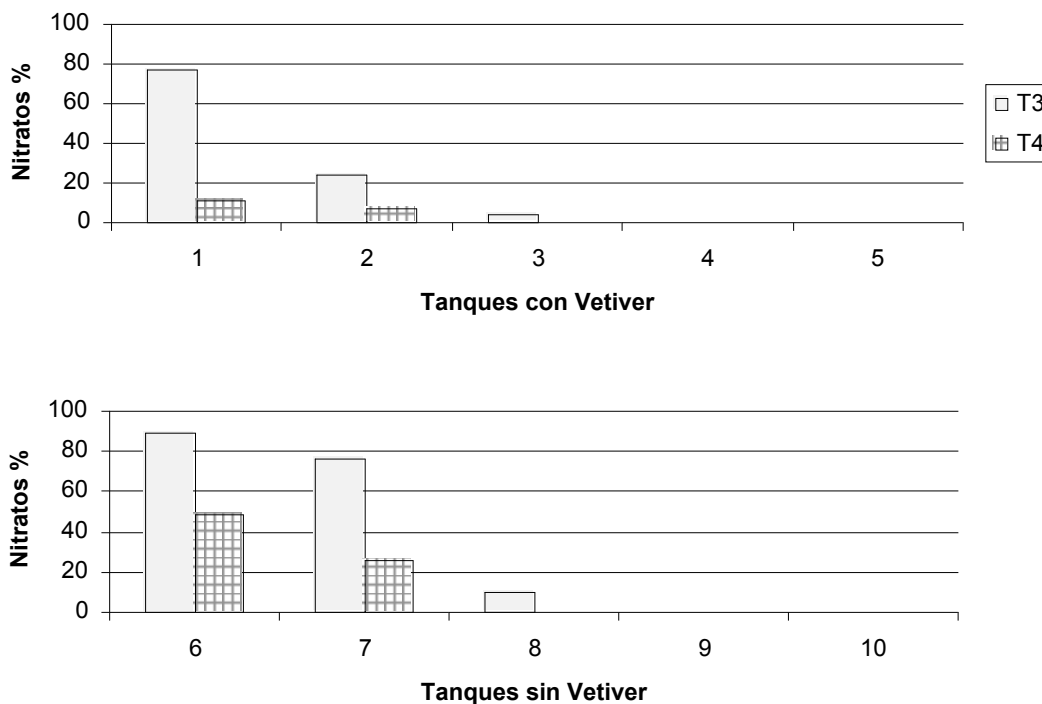


Figura 7. Valores porcentuales de Nitrato, para los cuatro tratamientos, en el sistema con vetiver y sin vetiver.

Investigaciones previas demostraron que la remoción de nitratos en humedales ocurre por la absorción de las plantas y por denitrificación. Ingersoll *et al* (1998); Baker, (1998); con altas cargas de nitratos, tasas típicas en tratamiento de humedales, la denitrificación es generalmente considerada el mecanismo dominante de pérdida de nitratos.

Njau *et al*, (2003); en aguas residuales textiles, encontró que en reactores plantados con vetiver la tasa de remoción fue de 25 %. Resultados que son superiores a los obtenidos en este experimento.

3.8-Cloruros:

No se demostró ninguna diferencia importante entre el sistema con vetiver y el sistema sin vetiver; tampoco entre los tratamientos, los valores de Cloruros oscilan siempre entre 50 y 100 mgL⁻¹. Esto nos dice que el vetiver no ejerció ningún efecto sobre la cantidad de cloruros presentes en el agua residual. El volumen de agua en el sistema con vetiver tiende a decrecer por el consumo de la planta, por lo que aumenta la concentración relativa de sales; aspecto que puede ser evaluado con más detalle en investigaciones futuras. Comparando nuestros resultados con investigaciones previas, podemos señalar que Srisatit *et al*, (2003); encontraron que los valores de salinidad fueron iguales durante su experimento.

3.9-Conductividad Eléctrica:

El vetiver no tuvo efectos en disminuir las sales disueltas en el agua residual, ya que el comportamiento es casi el mismo para ambos sistemas, otros estudios señalan que la conductividad eléctrica decrece con la longitud del tiempo y se incrementa con la profundidad del agua residual (Mongkon *et al*, 2003 y Srisatit *et al*, 2003); también refieren que la CE, decrece cuando la longitud del flujo aumenta, y aumentó directamente con la duración del experimento, lo que no se observó en esta experiencia.

4.-COMPARACION PORCENTUAL DE LOS CUATRO TRATAMIENTOS CON PASTO VETIVER Y EL REACTOR BIOLÓGICO (PTAR), DE LA PLANTA DE PRODUCCION DE GASEOSAS.

Durante todo el ensayo, se alimentó el sistema con vetiver y sin vetiver con agua residual (Buffer) previamente caracterizada, proveniente de la planta de producción de la empresa, esa misma agua llegaba a una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), es por ello que se pudo hacer una comparación de los resultados obtenidos en los tratamientos, del sistema con vetiver y los resultados obtenidos simultáneamente del reactor biológico de la empresa. En el caso específico de nitratos, no se tiene referencia de los valores obtenidos por la empresa, ya que no se ejecuta este análisis como rutina.

Cuadro 3.- Comparación de la eficiencia porcentual en los efluentes de los cuatro tratamientos vs. el efluente de PTAR, de la Planta de Producción de Gaseosas.

Variable	Eficiencia % *						
	ξ	Buffer	T1	T2	T3	T4	PTAR
DBO		524.72	3.159	19.692	9.223	62.118	6.617
DQO		1049.44	1.922	19.692	9.224	62.118	7.497
PT		2.94	55.445	37.857	76.152	97.271	23.554
ST		1572.5	45.00	21.691	91.97	74.677	44.515
SS		600	43.55	125.0	43.750	12.5	91.667
pH		5.13	70.34	68.74	65.49	68.01	-
CE		1191.0	122.401	85.896	153.042	134.409	83.501
Cloruros		253.75	112.02	74.92	119.053	121.688	51.702

*Eficiencia % = $(\xi \text{ efluente del tratamiento}) \cdot 100 / (\xi \text{ Tanque buffer})$

**Los valores promedio de pH fueron determinados por la concentración de iones hidrógeno.

PTAR= Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la empresa de gaseosas.

En el cuadro anterior se observan los resultados obtenidos luego del análisis realizado al agua proveniente del tanque de salida del sistema con vetiver para cada tratamiento, y los resultados de los análisis realizados a la salida del reactor biológico de PTAR. Cuando comparamos la eficiencia de las variables en los distintos tratamientos, con la eficiencia que se obtiene en el reactor biológico de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Planta de Producción de Gaseosas, podemos notar que los valores resultantes en los tratamientos con pasto vetiver son en algunas variables más eficientes que el tratamiento convencional utilizado por dicha planta; y para otras variables no hay diferencia aparente.

Entre los tratamientos el que presentó mejores resultados fue el dos, de tiempo de residencia 15 días.

5.- ANÁLISIS QUIMICO DE TEJIDOS.

Sabemos por experiencias previas, que el pasto vetiver absorbe nutrimentos esenciales tales como nitrógeno, fósforo y cationes; y almacena estos para otros usos (Smeal *et al*, 2003). La absorción de nutrimentos es a niveles extremos, lo que ayuda al proceso de crecimiento masivo en la planta; Wagner *et al*. (2003).

Debido a que no se contó con plantas de reposición durante el ensayo, no se pudo hacer repeticiones de estos muestreos en cada tratamiento, por esta razón solo se realizaron muestras simples de las plantas de cada tanque en los distintos tratamientos, y para estimar el comportamiento de cada uno de estos se promediaron los resultados de las cinco plantas en cada tratamiento.

Se concluyó que los tratamientos 1 y 2 favorecieron la absorción de Nitrógeno y Fósforo; y los tratamientos 3 y 4 la absorción de Potasio y Sodio.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De manera global el mejor comportamiento se logró con el tratamiento 2, cuando se comparó con la PTAR de PepsiCola.

La mayor eficiencia en la estabilización de pH fue en el tratamiento 1.

Del Análisis Químico de tejido, realizado al Pasto vetiver, al finalizar cada tratamiento, se concluyó que los tratamientos 1 y 2 favorecieron la absorción de Nitrógeno y Fósforo; y los tratamientos 3 y 4 la absorción de Potasio y Sodio. Es recomendable al realizar el análisis químico de tejido, tratar de tomar muestras en cada repetición de cada tratamiento, para obtener resultados más precisos

Se recomienda en una próxima investigación realizar repeticiones simultáneas de cada tratamiento; de manera de trabajar con un tanque buffer con las mismas características, y poder realizar todos los análisis en paralelo.

Corroborar el comportamiento del agua residual con los dos mejores tratamientos (20 y 15 días de tiempo de residencia equivalente), y probar con diferentes combinaciones de Tr –Vf y número de tanques, de manera de optimizar el sistema.

En una futura investigación estudiar con detalle todos los procesos que ocurren entre las raíces, el agua residual y los microorganismos.

Potenciar el uso de estos sistemas de tratamiento en diversas situaciones donde se amerite, tales como cochineras, industrias agroalimentarias, etc.

LITERATURA CITADA

- Baker, L. 1998. Design constructed considerations and applications for wetland treatment of high nitrate waters. *Water Sci. and Technology*. 38 (1): 389 – 395.
- Cottenie, A. 1982. Chemical analysis of plants and soils. State University. Belgium. 63 Pp.
- Gonzalez, S. 1996. Nitrificación y desnitrificación con biodiscos. III Symposium internacional sobre control de polución de aguas por procesos biológicos. Valencia. Venezuela. 7 Pp.
- Ingersoll T. and Baker L. 1998. Nitrate removal in wetland microcosms. *Water research*, 32 (3): 677 -684.
- Kong, X.; Lin, W.; Wang, B.; y Luo F. 2003. Study on Vetiver`s purification for wastewater from pig farm. Tercera conferencia internacional y exhibición. Vetiver y agua. Guangzhou, República Popular China. Pp 181 – 185.
- Liao X., L. Shiming, W. Yinbao, y W. Zhisan. 2003. Studies on the abilities of *Vetiveria zizanioides* and *Cyperus alternifolius* for pig farm wastewater treatment. Tercera conferencia internacional y exhibición. Vetiver y agua. Guangzhou, República Popular. China. Pp 186-193.
- Lin X., L. Chongyu y S. Wensheng. 2003. Treatment of landfill leachate by subsurface-flow constructed wetland: a microcosm test. Tercera conferencia internacional y exhibición. Vetiver y agua. Guangzhou, República Popular.China. Pp. 222- 230.
- Mongkon T., T. Patcharee., P. Santibhab, y P. Sultipong. 2003. Vetiver grass research: Primary management of wastewater from community. Tercera conferencia internacional y exhibición. Vetiver y agua. Guangzhou, República Popular China. Pp 128-139. Guangzhou, República Popular. China. Pp 162-170.
- Njau K. y H. Mlay. 2003. Wastewater Treatment and other research initiatives with Vetiver grass. Tercera conferencia internacional y exhibición. Vetiver y agua. Guangzhou, República Popular. China. Pp 231-240.
- Shu, W. 2003. Exploring the potential utilization of vetiver in treating acid mine drainage (AMD). Tercera conferencia internacional y exhibición. Vetiver y agua. Guangzhou, República Popular China. Pp 215-221.
- Smeal, C. M. Hackett y P. Truong. 2003. Vetiver system for industrial wastewater treatment in Queensland, Australia. Tercera conferencia internacional y exhibición. Vetiver y agua. Guangzhou, República Popular China. Pp 79-90.
- Srisatit, T. y Sengsai W. 2003. Chromium removal efficiency by *Vetiveria zizanioides* and *Vetiveria nemoralis* in constructed wetlands for tannery post-treatment wastewater. Tercera conferencia internacional y exhibición. Vetiver y agua. Guangzhou, República Popular China. Pp 171 – 180.
- Truong, P. 2003. Vetiver system for water quality improvement. Tercera conferencia internacional y exhibición. Vetiver y agua. Guangzhou, República Popular China. Pp 64-78.
- Wagner, S.; P. Truong; A. Vieritz y C. Smeal. 2003. Response of vetiver grass to extreme nitrogen and phosphorus supply. Tercera conferencia internacional y exhibición. Vetiver y agua. Guangzhou, República Popular China. Pp 105-114.

- WWW.vetiver.org/TVN-bonn03.pdf. Modelo ADIC/VOCA. visitado el día 21/05/03.
- Xia, H.; Ke, H.; Deng, Z.; Tan, P.; Liu, S. 2003. Ecological effectiveness of Vetiver constructed wetlands in treating oil-refined wastewater. Tercera conferencia internacional y exhibición. Vetiver y agua. Guangzhou, República Popular China. Pp 115 – 127.

DATOS DE AUTOR

Mónica P. Scavo K. Universidad Central de Venezuela Facultad de Agronomía. Postgrado de Ingeniería Agrícola. 2005. Título **Magíster Scientiarum en Ingeniería Agrícola**. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. 2001. Título: **Ingeniero Agrónomo**; mención Fitotecnia.

Ponente: Primer Simposio “La tecnología del pasto vetiver en Venezuela. Una herramienta para la conservación del ambiente y el desarrollo comunitario”.2003.Facultad de Agronomía. UCV.

Ponente: Primer Taller de Innovación Tecnológica. Centro Primor Alimentos de Valencia - Empresas Polar. Caracas 2004.

Ponente: Curso – Taller. Manejo de Residuos Orgánicos. Instituto de Producción Animal. Facultad de Agronomía. UCV. Mayo 2004.