

# Evaluación del funcionamiento de una barrera activa, para remover nitratos a escala de laboratorio

## Evaluation of the functioning of an active barrier, to remove nitrates at laboratory scale

58

Ángel Aguilar<sup>1</sup>; Danelis Almendra<sup>1</sup>; Luis Carvajal<sup>1</sup>; Yara González<sup>1</sup>; Marianela Isaza<sup>1</sup> & Erick Vallester<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Licenciatura en Ingeniería Ambiental – Facultad de Ingeniería Civil – Universidad Tecnológica de Panamá

<sup>2</sup>Facultad de Ingeniería Civil – Universidad Tecnológica de Panamá

**Resumen** Este proyecto consiste en un sistema de aguas subterráneas, dividido en tres zonas: zona de arena, zona de tusas de maíz (barrera activa) y zona de arena y grava. Para realizar los estudios necesarios se utilizan químicos como: nitrato de potasio, bisulfito de sodio (regula el oxígeno disuelto) y difosfato de potasio (regula el potencial de hidrógeno). Se realizaron análisis fisicoquímicos y microbiológicos para la evaluación de la eficiencia de remoción de nitratos, para estos se obtuvieron datos de pH, caudal, potencial de óxido-reducción, concentración de nitrato, sólidos totales, coliformes totales, demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno, entre otras. Las bacterias descomponen el nitrato en nitrógeno y oxígeno molecular y obtienen su fuente de carbono por medio de las tusas de maíz.

**Palabras claves** Bacteria, barrera activa, nitrato, tusas de maíz.

**Abstract** This project consists of a groundwater system, divided into three zones: sand, corn cob area (active barrier) and sand and gravel area. To perform the necessary studies chemicals are used as potassium nitrate, sodium bisulfite (regulates dissolved oxygen) and potassium diphosphate (regulates the potential of hydrogen). Physico-chemical and microbiological analysis for assessing the efficiency of nitrate removal were conducted for these acquired saw pH data, flow, potential redox, nitrate concentration, total solids, total coliforms, chemical oxygen demand, biochemical oxygen demand, among others. Bacteria decompose the nitrate into nitrogen and oxygen and molecular carbon source obtained through the corncobs.

**Keywords** Bacterium, active barrier, nitrate, corn cob.

\* Corresponding author: erick.vallester@utp.ac.pa

## 1. Introducción

El nitrato es encontrado naturalmente en el suelo y agua, pero en muy bajas concentraciones.

Actualmente los fertilizantes usados en la agricultura son ricos en nitrógeno, ya que estos contribuyen en el crecimiento de las plantas.

A través de la lixiviación estos nutrientes pueden llegar a las aguas subterráneas y contaminarlas [1].

Para encontrar una solución a la contaminación se usan diferentes técnicas, entre ellas está la desnitrificación, que es un proceso biológico de reducción del nitrato a nitrógeno molecular, en condiciones anóxicas, por la acción de bacterias heterótrofas.

Este proyecto tiene como objetivo remover la mayor cantidad de nitrato a través de una barrera activa, mediante un modelo a escala de laboratorio, que simula un cuerpo de agua subterránea, utilizando la técnica antes mencionada, para esto se utilizaron desechos orgánicos de la agricultura específicamente la tusa de maíz.

El comportamiento del sistema se verificó mediante pruebas de laboratorios.

A continuación, se muestra la metodología utilizada en el proyecto, los resultados obtenidos y por último un apartado con la conclusión, recomendaciones y referencias bibliográficas.

## 2. Materiales y métodos

En esta sección se muestran los materiales y la metodología utilizada en la elaboración de la barrera activa.

En esta etapa se abarcan las fases más importantes para la elaboración del sistema, que constituyen la parte fundamental para el desarrollo y funcionamiento del mismo.

Antes del desarrollo del proyecto se realizó una revisión bibliográfica de distintas fuentes, publicaciones y sitios web aplicados y referentes al tema, mediante la cual se aplican estos conceptos teóricos y toda la información recopilada para diseñar y dimensionar de manera apropiada el modelo.

### 2.1 Selección de los materiales

La barrera activa está compuesta por material orgánico reutilizado, en este caso la tusa de maíz,

con un diámetro aproximado de 20 mm, ya que esta posee las características y propiedades necesarias como fuente removedora de nitrato. El sistema se elaboró con láminas de acrílico, con una altura de 300 mm, espesor de 300 mm y una longitud de 910 mm.

El modelo a escala de laboratorio simula el flujo del agua subterránea, el cual se ha clasificado en tres secciones: zona de arena, zona de tusa de maíz y una zona de grava y arena.

La zona de tusas de maíz (barrera activa) comprende un volumen de  $8 \times 10^6$  mm<sup>3</sup> del volumen total del sistema. Además, este cuenta con una entrada y salida, con un recorrido de flujo ascendente a través de las zonas mencionadas y con tres pozos de recolección, dos (2) en la entrada (antes de la barrera activa) y uno (1) en la salida (después de la barrera activa), que son tubos de pvc con un diámetro de 32 mm cada uno, la zona de tusa de maíz se muestra en la figura 1.



**Figura 1.** Barrera activa.

El agua residual que alimenta el sistema, se elaboró de manera sintética, con las propiedades necesarias que se requieren, mediante la adición de químicos como: nitrato de potasio, bisulfato de sodio (regula el oxígeno disuelto) y difosfato de potasio (regula el potencial de hidrógeno).

El caudal del tanque de abastecimiento se mantiene con un caudal de 8 mL/min.

### 2.2 Análisis granulométrico de la arena y grava

El proceso de estudio de la granulometría de

la arena y la grava se realizó mediante la prueba de tamices.

Para llevar a cabo esta prueba se necesitó que el material estuviera completamente seco, se introdujo 24 horas en el horno [2].

Mediante esta prueba se obtuvo datos importantes tales como: el coeficiente de uniformidad y curvatura, la porosidad y el tipo de suelo, este último se obtuvo mediante el método de sistema unificado de clasificación de suelos, dando como resultado para la arena, una arena mal graduada y para la grava con arena, una grava mal graduada con arena.

### 2.3 Evaluación preliminar

La eficiencia del sistema en la remoción de nitratos, se determinó a partir de la medición de ciertos parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

Estos análisis se llevaron a cabo tanto en la entrada como en la salida del sistema, a partir de los datos obtenidos durante el período de pruebas iniciado desde el 24 de agosto hasta el 1 de noviembre.

En cada una de las muestras se evaluaron los parámetros que se presentan en el cuadro 1, indicando la frecuencia con la que se realizan las pruebas a la semana o al mes según sea el caso.

Todos los métodos utilizados en el presente estudio para evaluar el funcionamiento de la barrera activa se basan en aquellos establecidos en el *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2000).

**Cuadro 1.** Frecuencia para evaluar los parámetros en el sistema

Período	UFC/100mL (entrada)	UFC/100mL (salida)
Día 23	80	160
	40	50
	80	60
Día 30	5	5
	7	10
	0	12
Día 14	0	430
	0	> 333
	0	200

El caudal define el tiempo de retención hidráulico. Para mantener el caudal constante, se manipula la válvula para aumentar o disminuir la entrada al sistema.

Es importante señalar que al tanque de abastecimiento se le realiza un mantenimiento y llenado cada vez que el sistema así lo requiera (2 veces a la semana aproximadamente).

### 2.4 Evaluación y comparación de resultados

Los resultados obtenidos mediante las pruebas de laboratorio realizadas se analizan para:

- Comparar la eficiencia de remoción de nitratos utilizando la tusa de maíz como fuente de energía para las bacterias degradadoras, así como el funcionamiento y operación del mismo.
- Las posibles ventajas y desventajas del sistema.
- Obtener las condiciones favorables adecuadas de operación y mantenimiento que garanticen el adecuado desempeño y funcionamiento.

Como complemento adicional se realizan observaciones microbiológicas, para conocer de manera detallada la microfauna presente en el sistema de tratamiento, siendo esta una parte informativa del proyecto.

## 3. Resultados y discusión

### 3.1 Parámetros medidos del material de arena y grava

La arena tiene un coeficiente de uniformidad de 1,64, se clasificó como arena mal graduada.

La grava tiene un coeficiente de uniformidad de 2.9 y se clasificó como grava mal graduada con arena. La porosidad de la arena es de 25% y de la grava 40%.

### 3.2 Parámetros generales del sistema

El tiempo de retención del sistema es de 1 día, con un caudal promedio de 8 ml/min, la carga orgánica es de 3 kg DBO/m<sup>3</sup> y la carga hidráulica de 42,2 L/m<sup>2</sup>\*d.

El sistema bajo condiciones ideales se comporta como un reactor de flujo tipo pistón, con un orden de reacción (n) uno (1). Las constantes

de reacción (k) para el nitrato (NO<sub>3</sub>) y demanda química de oxígeno (DQO) son respectivamente, 0.0057 d<sup>-1</sup> y 0,0291 d<sup>-1</sup>.

Para la demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) no se obtuvo la constante de reacción, debido a que no se contaba con una cantidad de datos suficientes que permitiera un análisis consistente.

La tasa promedio de remoción de nitrato fue de 0.11 g/L\*d. Este valor puede compararse con otros estudios que se han realizado en base a los posibles funcionamientos en la capacidad de remoción que tenga las tusas de maíz, para así establecer un significado ideal para este resultado [3].

### 3.3 Parámetros fisicoquímicos

En la tabla 1 se muestran los valores promediados de temperatura, pH, potencial de óxido reducción, oxígeno disuelto, conductividad y salinidad.

Los parámetros arriba mencionados fueron medidos durante los dos meses para conocer el comportamiento del sistema, que permitiera controlar el desarrollo factible de los microorganismos y por ende la eficaz actividad de remoción.

**Tabla 2.** Valores promediados de los parámetros fisicoquímicos medidos en la entrada y salida del sistema

Entrada						
	T (°C)	pH	ORP (mV)	OD (mg/L)	C (µs/cm)	S (ppt)
Media	24.2	6.7	40.1	4.0	455.2	0.2
Estándar Desviación	1.1	0.3	92.3	3.2	59.2	0.03
Rango	22.7	6.1	42	0.1	392.5	0.2
	a	a	a	a	a	a
	25.6	7.1	154.7	7.7	578	0.3
Salida						
	T (°C)	pH	ORP (mV)	OD (mg/L)	C (µs/cm)	S (ppt)
Media	24.3	6.6	-6.3	3.1	444.1	0.2
Desviación Estándar	1.1	0.5	62.4	1.7	107.4	0.05
Rango	22.9	4.8	-111.4	1.3	358.6	0.2
	a	a	a	a	a	a
	25.4	7.1	-154	6.4	477.8	0.5

### 3.4 DQO, DBO y SSV

En la tabla 2 se muestran los resultados de los análisis realizados durante cuatro semanas, para determinar la DBO, al igual que la DQO y los sólidos suspendidos volátiles (SSV).

A diferencia de los sistemas de lodos activados la DBO debe mantenerse baja en el afluente, ya que este es anóxico y requiere que los microorganismos demanden más oxígeno en la salida para lograr la eficiencia de remoción del nitrato.

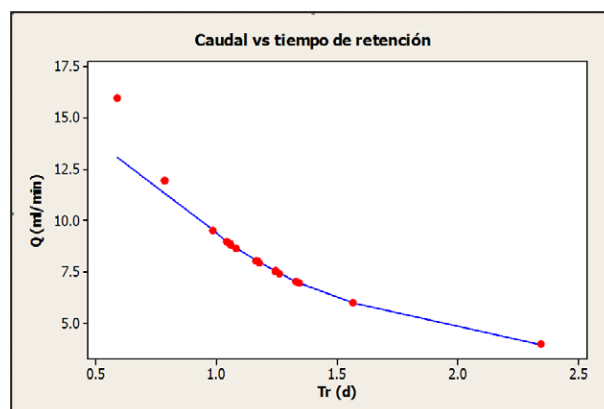
**Tabla 2.** valores de dqo, dbo y ssv

Entrada	05/10/16	13/10/16	19/10/16	27/10/16
DBO (mg/l)	5.5	2.3	1.1	-
DQO (mg/l)	7	3	13	2
SSV (mg/l)	16	34	12	44
Salida	05/10/16	13/10/16	19/10/16	27/10/16
DBO (mg/l)	31	72	66	230
DQO (mg/l)	36	84	83	269
SSV (mg/l)	58	48	88	166

### 3.5 Análisis de resultados

#### 3.5.1 Caudales y tiempo de retención

En la figura 2 se presentan los resultados sobre el comportamiento del caudal en función del tiempo de retención.



**Figura 2.** Gráfico del comportamiento del caudal en función del tiempo de retención.

El tiempo de retención es mayor cuando el caudal se mantiene bajo (< de 6 ml/min), el

promedio es de 8 mL/min. El aumento del caudal en el sistema implica una falta de degradación del material, debido a que el sistema puede recibir más aeración.

Controlar la variabilidad del caudal es indispensable para la obtención de resultados eficientes, ya que el sistema necesita que este sea relativamente bajo (< de 10ml/min), para evitar que exista una aireación, que el material orgánico sea removido por la velocidad del mismo y para controlar también el tiempo de retención necesario para que ocurran las reacciones que darán paso a la acción degradadora de las bacterias.

### 3.5.2 Variaciones en concentración de nitrato

En la figura 3 se presentan los resultados sobre la concentración de nitrato en la entrada y en la salida de la barrera activa durante la evaluación del sistema.

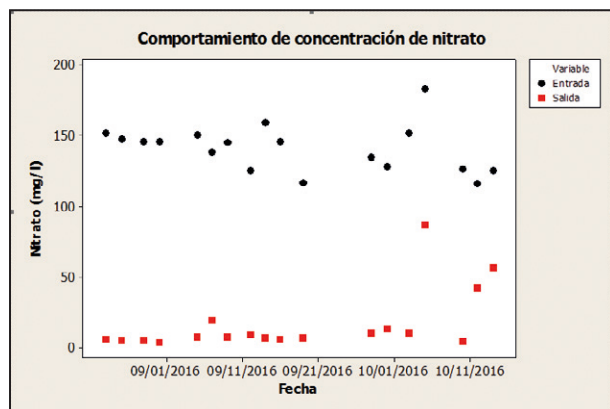


Figura 3. Gráfico de la concentración de nitrato en la entrada y salida durante la evaluación del sistema.

La concentración de nitrato en la entrada se mantenía entre 120 y 140 mg/L, esta concentración se obtenía de la elaboración del agua sintética preparada con nitrato de potasio, que funciona como el contaminante de este sistema.

La capacidad de depuración del sistema posibilitaba que la salida presentara concentraciones menores de 10 mg/l en su mayoría. En algunos días las concentraciones de entrada se elevaban, esto iba a depender de la exactitud con que se preparaba el agua sintética

del sistema, poca variación en la elaboración de la misma podría significar grandes cambios en los resultados, alterando el funcionamiento del sistema.

También la actividad microbiana para la depuración depende del nivel del pH contenido y la cantidad de oxígeno disuelto.

### 3.5.3 Relación entre eficiencia y oxígeno

En la figura 4 se presentan los resultados sobre el comportamiento de la eficiencia en función del oxígeno disuelto.

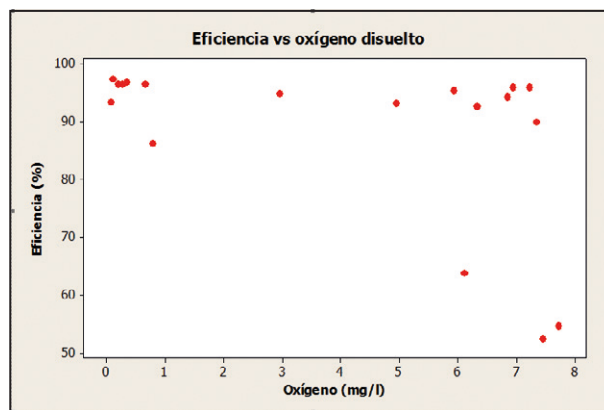


Figura 4. Gráfico del comportamiento de la eficiencia en función del oxígeno disuelto.

La eficiencia del sistema se relaciona directamente con el oxígeno disuelto. Esta tiende a disminuir cuando el oxígeno disuelto es mayor, debido a que los microorganismos optan por consumir ese oxígeno y no así el nitrato.

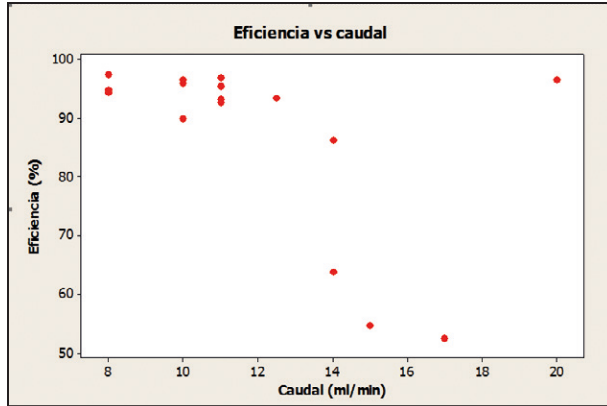
Para el sistema el comportamiento ideal depende de la cantidad de oxígeno disuelto en el mismo, ya que se debe mantener muy bajo (<2 mg/L) para que los microorganismos opten por consumir el nitrato y este pueda ser convertido en nitrógeno libre y cumplir con el objetivo de descontaminación.

### 3.5.4 Relación entre eficiencia y caudal

En la figura 5 se presentan los resultados sobre el comportamiento de la eficiencia de la barrera activa en función del caudal.

Se observa en la figura 5 que la eficiencia tiende a disminuir cuando los caudales aumentan. Por lo tanto, el caudal es un factor

62

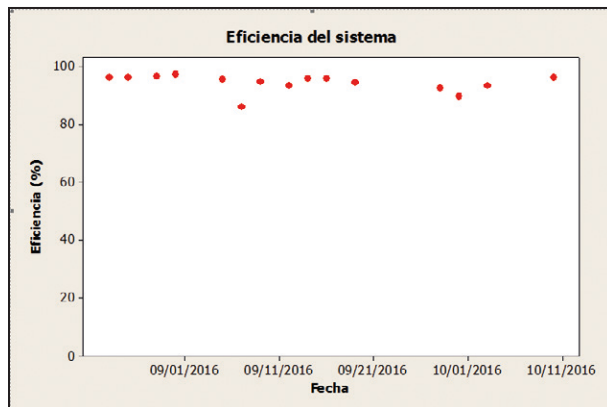


**Figura 5.** Gráfico del comportamiento de la eficiencia en función del caudal.

que puede disminuir o incrementar la capacidad de depuración que tiene el Sistema.

### 3.5.5 Relación entre eficiencia y oxígeno

En la figura 6 se presentan los resultados sobre el comportamiento de la eficiencia en función del tiempo.



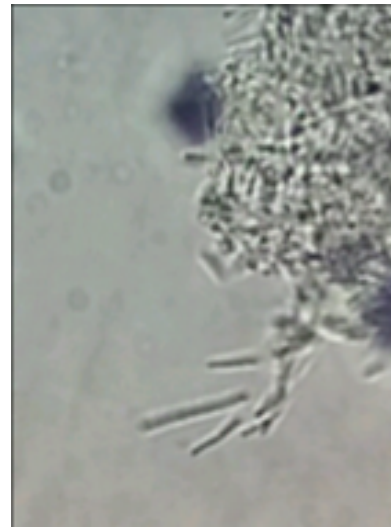
**Figura 6.** Gráfico del comportamiento de la eficiencia en función del tiempo.

Finalmente, la eficiencia del sistema se mantuvo por encima de 80%, por lo cual se puede establecer que el sistema de remoción de nitrato de barrera activa compuesta por tusas de maíz es altamente eficiente para la depuración de aguas contaminadas con este ion. El estudio consecutivo de los diferentes parámetros establecidos debe ser consistente para asegurar una eficiencia mayor del 80% que contribuya a la descontaminación.

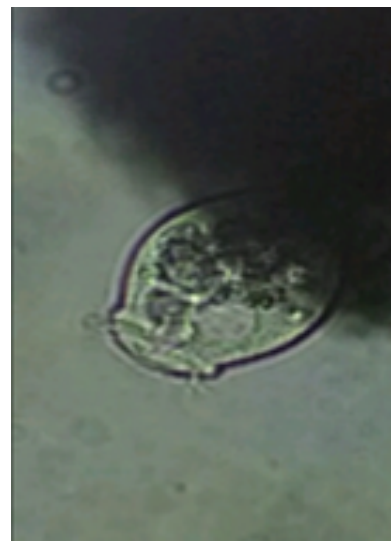
### 3.5.6 Microorganismos

Los microorganismos observados en el agua a través del microscopio fueron: Copepod, Cyclops, Order Ostracoda (1 mm).

Además de protozoos ciliados, bacilo bacterias (la presencia de esta bacteria en la salida del sistema puede suponer una descontaminación de este efluente). La Vorticella no es favorable para el sistema ya que se alimenta de las demás bacterias [2-3]. En las figuras 6 y 7 se muestran algunas de ellas.



**Figura 6.** Vorticella, observado en el microscopio objetivo 40x.



**Figura 7.** Bacilo, observado en el microscopio objetivo 40x.

## 4. Conclusiones

- Los resultados obtenidos muestran que las técnicas de desnitrificación empleadas en el modelo que simula un cuerpo de agua subterránea a escala de laboratorio, presentan una eficiencia de remoción que se mantiene por arriba del 80%, por lo cual se puede establecer que el sistema de barrera activa con el uso de desechos orgánicos agrícolas (tusas de maíz) es una solución para la remoción del nitrato presente en las aguas subterráneas.
- El nitrato a lo largo de la evaluación del sistema se mantuvo bajo en la salida del mismo, con valores menores de 10 mg/l en su mayoría.
- Los resultados obtenidos de DBO y DQO, muestran el buen funcionamiento del sistema esto gracias al consumo de oxígeno por las bacterias, que hace posible que la concentración del nitrato disminuya y se convierta en nitrógeno libre y oxígeno.
- Los microorganismos encontrados son indicadores de descontaminación en el sistema a diferencia de la Vorticella que es desfavorable ya que se alimenta de las demás bacterias.

## Agradecimiento

Agradecemos al profesor Cenobio Cárdenas y el profesor José Chávez por el apoyo en el laboratorio de sanitaria al momento de realizar todas las pruebas necesarias para el desarrollo de esa investigación.

A la profesora Mavis de Sedas por su colaboración en el laboratorio de suelos durante la realización de la prueba de granulometría.

## REFERENCIAS

- [1] APHA, 2000. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Washington, DC: AWWA, WEF.
- [2] Towle, J. H. (1989). *Biología Moderna*. México: McGRAW-HILL.
- [3] Das, B. M. (1985). *Fundamentos de ingeniería geotécnica*.
- [4] Cáceres, V. (s.f.). *Tecnologías alternativas en la gestión integral de las aguas residuales domésticas, con biofiltros en Nicaragua*. Nicaragua.
- [5] Anon., s.f. Agua. [En línea] Available at: <http://www.agua.uji.es/pdf/leccionHQ21.pdf> [Último acceso: 25 Octubre 2016]

## 5. Recomendaciones

- Se debe mantener un caudal en el sistema constante para evitar obtener variaciones considerables en los resultados de los parámetros medidos.
- El uso de este sistema de remoción de nitrato requiere una constante limpieza para evitar la proliferación de organismos no deseados. Además, se debe implementar el recubrimiento del sistema para evitar el desarrollo de vectores como los mosquitos.
- Se debe realizar la calibración de los equipos del laboratorio, dotarlo de insumos necesarios para llevar a cabo investigaciones similares que son de gran importancia para el desarrollo de los tratamientos de aguas.