

TRANSPORTE DE OXÍGENO A TRAVÉS DE PLANTAS ACUÁTICAS

RESUMEN

Los experimentos en el laboratorio fueron conducidos para determinar la eficacia de una planta acuática flotante en el mejoramiento en la calidad de un agua residual, basada en su capacidad para transportar oxígeno hacia el efluente. El jacinto de agua como otras plantas acuáticas, transporta O₂ a través de sus tejidos dentro de la zona radical, creando así microzonas aerobias alrededor de las raíces. La difusión y el transporte de flujo masivo de O₂ vía peciolos y su liberación en la zona radical (Armstrong, 1990) puede incrementar los potenciales redox en el sustrato mejorando la descomposición microbiana y las tasas por nitrificación (Gersberg et al, 1986).

PALABRAS CLAVES: Transporte de oxígeno, planta acuática, agua residual.

ABSTRACT

Laboratory experiments were conducted to determine the effectiveness of one floating aquatic plant in improving wastewater quality, based on their capacities for O₂ oxygen transport into the effluent. Water hyacinth, like many other aquatic plants transport O₂ through their tissue into the root zone, thus creating aerobic microzones around the roots. Diffusive and mass flow transport of oxygen via plant shoots and its release in the plant root-zone (Armstrong, 1990) may increase redox potentials in the substratum, enhancing microbial decomposition and nitrification rates (Gersberg et al, 1986).

KEYWORDS: Oxygen transport, aquatic plant, wastewater

1. INTRODUCCIÓN

En la pasada década el uso de plantas acuáticas cultivadas en lagunas poco profundas para el tratamiento de las aguas residuales, se perfiló como un sistema de tratamiento alternativo competitivo y viable económicamente.

Las plantas acuáticas enraizadas en sedimentos anaerobios y aguas residuales anóxicas, transportan oxígeno a través de sus tallos y hojas hacia la zona radicular. El mecanismo de transporte de oxígeno hacia las raíces ha sido demostrado por varios investigadores (Dacey 1987; Morhead y Reddy 1988; Reddy et al 1989).

Las raíces además sirven de hospedaje a los diferentes microorganismos aerobios degradadores de la contaminación existente en una agua residual.

Para mejorar la eficiencia en el tratamiento y reducir la producción de olores y mosquitos, se sugirió una aireación mecánica a las lagunas que contenían las plantas acuáticas (Reed et al, 1995). Sin embargo recientes estudios demostraron que el mejoramiento en la calidad del agua no dependía de la aireación mecánica.

ALBA LUCÍA DOMÍNGUEZ O.

Licenciada en Química, Ms.C
Profesora Titular
Universidad Tecnológica de Pereira.
aldomin@utp.edu.co

DeBusk et al (1989); no recomiendan aireación mecánica debido a los requerimientos de energía.

El oxígeno es esencial para el metabolismo de los vegetales, su ausencia en las proximidades de las raíces de las plantas acuáticas inhibe la respiración aerobia en las raíces y posibilita la acumulación de materiales que pueden ser dañinos. Por lo general se acepta que la extensa red de espacios internos (cavidades o lagunas) en estas plantas representa una adaptación a su medio y sirve sobretodo para transportar O₂ hasta las raíces y rizomas enterrados (Dacey, 1980).

Dacey (1987), descubrió que los gases de los espacios aéreos (lagunas o cavidades) del jacinto se presurizaban en la oscuridad con sólo tener cerca un objeto caliente. La presurización no dependía de la luz, sino del calor. La teoría física del flujo de un gas a través de poros predice que el flujo ocurre sólo por difusión cuando los poros son muy pequeños (menores de 0.1 µm). Poros mayores permiten tanto difusión como flujo masivo.

El flujo masivo en el jacinto de agua, se da debido a que los poros de las hojas de mayor edad son más grandes que los poros de las hojas juveniles, permitiendo un flujo masivo hacia la atmósfera. Este sistema de flujo acelera

el transporte de oxígeno hacia las raíces más del que podría ocurrir por difusión. El sistema tiene la ventaja de

que también transporta CO₂ proveniente del rizoma hacia las hojas más antiguas, para su empleo en la fotosíntesis (Tchobanoglous et al, 1987).

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos a nivel de laboratorio de la efectividad del jacinto de agua para transferir oxígeno al agua residual, así como la reducción en la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Las plantas de jacinto de agua y el agua residual fueron tomadas de la planta de tratamiento de la industria Pez fresco ubicada a 20 kilómetros de la ciudad de Pereira, donde existe un sistema de lagunas cubiertas con jacinto para la depuración de sus aguas residuales.

Para este estudio se utilizaron 2 beakers de 2 litros cubiertos totalmente con papel de aluminio (Figura 1) y llenos con el agua residual que contenía una concentración de oxígeno disuelto inicial de 0.3 mg/l. A un beaker se le introdujo una planta con sus raíces extendidas en el agua residual y el otro beaker que no contenía planta se usó como control de la experiencia. El montaje y los análisis respectivos se realizaron en el laboratorio de Química Ambiental de la Facultad de Ciencias Ambientales de la U.T.P. La cuantificación de oxígeno disuelto (OD) se determinó diariamente mediante el uso de un electrodo selectivo para el OD (marca YSI-51B). La DBO₅ se determinó por el método de Winkler y establecido en los Métodos Estándar edición 19 del año 1995.

La temperatura promedio se mantuvo en 20°C.



Figura 1 Montaje Experiencia

Las ecuaciones de correlación lineal fueron determinadas mediante el uso del programa Excel versión 97. Para los

análisis de los coeficientes de los modelos de regresión se utilizó el test T con p < 0.05.

3. RESULTADOS

La Tabla 1 presenta los resultados obtenidos en los tres experimentos efectuados, utilizándose un tiempo de 9 días. El montaje realizado en cada ensayo aseguró que el O₂ transferido al agua residual ocurrió solamente a través de la porción aérea de la planta para una temperatura promedio de 20°C.

Tabla 1. Transferencia de oxígeno al agua residual.

EXPERIMENTO 1			EXPERIMENTO 2			EXPERIMENTO 3		
DÍ A	OD (mg/l)	Ln (C _s - C) / (C _s - C ₀)	DÍ A	OD (mg/l)	Ln (C _s - C) / (C _s - C ₀)	DÍ A	OD (mg/l)	Ln (C _s - C) / (C _s - C ₀)
0	0,3	0	0	0,3	0	0	0,3	0
1	2,4	-0.34	1	1,8	-0.23	1	1,2	-0.13
2	3,7	-0.63	2	2,6	-0.38	2	1,4	-0.16
4	4,6	-0.89	4	3,8	-0.65	3	2,2	-0.30
5	5,4	-1.20	5	4,8	-0.96	6	3,4	-0.55
6	6,4	-1.80	6	5,7	-1.34	7	3,8	-0.65
7	7,0	-2.53	7	7,0	-2.49	8	4,4	-0.82
9	7,2	-2.94	9	7,4	-3.59	9	4,8	-0.96

La figura 2 muestra para cada experiencia, el incremento de O₂ con relación al tiempo y su tendencia lineal. En los tres ensayos la concentración de OD inicial fue de 0,3 mg/l, concentración correspondiente al afluente que llega al sistema combinado de lagunas. Las concentraciones de OD obtenidas al cabo de nueve días fueron de 7,2; 7,4 y 4,8 mg/l respectivamente. El valor de 4,8 mg/l de la experiencia tres obedece, posiblemente al tamaño menor de la raíz del jacinto de agua empleado. Moorhead et al (1988), encontraron que existe una correlación entre la masa de raíz seca y la velocidad de transferencia del oxígeno a la raíz de la planta acuática.

Para la evaluación gráfica de transferencia de Oxígeno al agua residual se empleó la siguiente ecuación (Metcalf y Eddy 1996):

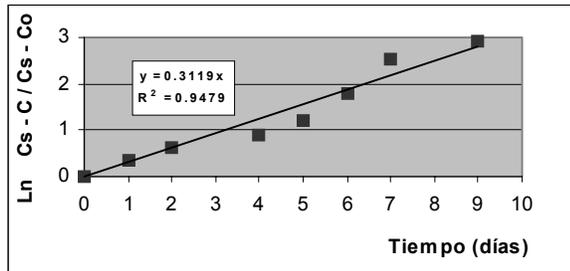
$$dC/dt = K_{La} (C_s - C)$$

La resolución de la anterior expresión conduce a:

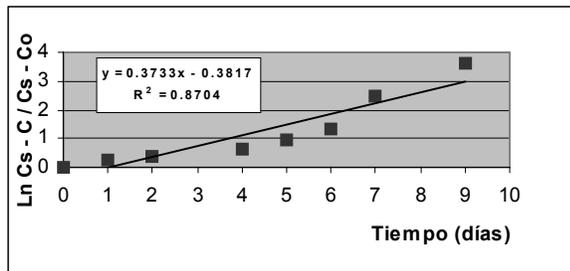
$$(C_s - C_t) / (C_s - C_0) = e^{-kLa.t}$$

Donde:

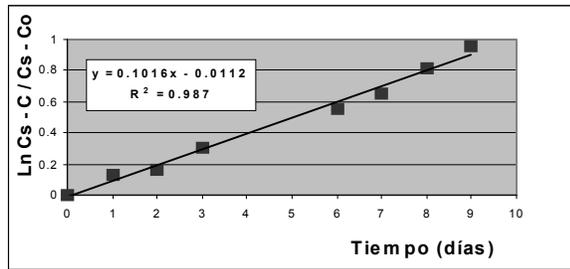
- C_s = Concentración de saturación de OD (mg/l). 7,6 mg/l.
- C_t = Concentración de OD en el tiempo t (mg/l)
- C₀ = Concentración de OD en el tiempo cero (mg/l)
- K_{La} = Coeficiente de transferencia de gases (h⁻¹)



(a) Experimento 1



(b) Experimento 2



(c) Experimento 3

Figura 2 (a - c) Transferencia de oxígeno al agua residual.

Si se analiza la figura 2, se observa que el valor de K_{La} para los experimentos 1 y 2 es similar siendo su valor promedio igual a $0,342 \text{ d}^{-1}$ (8,2h). Para el experimento 3 el valor de K_{La} difiere, probablemente por la baja transferencia del OD al agua residual.

El O_2 consumido en la reducción de la DBO_5 más el OD acumulado en el agua residual durante los nueve días fue usado como un indicador del oxígeno total transportado a un litro del residual usado (Ver tabla 2).

Tabla 2 Concentraciones de DBO_5 y OD al inicio y final del periodo de incubación de nueve días.

EXPERIMENTO	DBO_5 inicial (mg/l)	DBO_5 final (mg/l)	OD inicial (mg/l)	OD final (mg/l)	OD transferido $mgO_2 \cdot d^{-1} \cdot l^{-1}$
1	68	15	0,3	7,2	6,6
2	87	28	0,3	7,4	7,3
3	102	60	0,3	4,8	5,2

La velocidad de transporte del O_2 fue calculada usando la siguiente ecuación (Reddy et al 1989):

$$O_2 \text{ transportado} = DBO_5 (\text{inic.} - \text{fin.}) + OD (\text{fin.} - \text{inic.})$$

Tchobanoglous et al (1979) reportó valores del transporte de O_2 hacia las raíces de 7 a $8 \text{ g d}^{-1} \cdot \text{m}^{-3}$. Los resultados anteriores confirman además, la capacidad que presenta el jacinto de agua para airear su sistema radicular creando las condiciones adecuadas para el soporte de los microorganismos heterótrofos responsables de la reducción de la DBO soluble de la columna de agua y del proceso de nitrificación.

4. CONCLUSIONES

- El estudio a nivel de laboratorio demostró que el jacinto de agua transportó entre $6,6$ y $7,3 \text{ mgO}_2 \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{l}^{-1}$ cuando el tamaño de la raíz presentó mayor área superficial y $5,2 \text{ mgO}_2 \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{l}^{-1}$ cuando se usó una mata de jacinto más pequeña.
- La remoción en la DBO , se produjo entre otras por la oxidación aerobia de la materia orgánica en la rizosfera, ya que al incrementarse el OD en el agua del beaker, la DBO_5 disminuía simultáneamente.
- Las plantas acuáticas que poseen una alta área superficial radicular, traslocan continuamente el O_2 como sustrato para los microorganismos.
- La ventilación en el jacinto acuático es un ejemplo de diseño sencillo, que aprovecha el calor y la física de los gases para hacer funcionar una “máquina de vapor biológica”.
- La capacidad del jacinto de agua para transportar O_2 hacia la raíz, debe ser considerada como un criterio en el diseño de lagunas que utilicen estas plantas acuáticas para el tratamiento de aguas residuales.
- La K_{La} biológica obtenida en este estudio, presenta un valor alto,. Por lo anterior se recomienda realizar otros estudios, teniendo en cuenta otros factores como: profundidad de la raíz en el agua residual, tamaño de raíz, perfil de OD, volumen que rodea la raíz, entre otros.

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] APHA. 1995. Standard methods for the examination of water and wastewater, 19th edition. American Public Health Association. New York.
- [2] ARMSTRONG W. 1990. Measurement and modelling of oxygen release from roots of phragmites australis. In constructed wetlands in water pollution control, pp 41-45. Pergamon Press, Oxford. U.K.
- [3] DACEY, John W.H. 1980. Internal winds in water lilies. An adaptation for life in anaerobic sediments. *Science* 210: 1017-1019. Washington, D.C.
- [4] DACEY, John W.H. 1987. Ventilation by floating leaves in nuphar. *Ecology* 63: 1137-1147.
- [5] DEBUSK T.A., K.R. Reddy y K.S. Clough. 1989. Effectiveness of mechanical aeration in floating aquatic macrophyte based wastewater treatment systems. *J. Environ. Qual* 18: 349-354.
- [6] GERSBERG R, M. Elkins B. y C. Goldman. 1986. Role of aquatic plants in wastewater treatment by artificial wetlands. *Wat. Research* 20, 363-367.
- [7] METCALF y EDDY. 1996. Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización. Tercera edición, Mc Graw-Hill Inc. New York.
- [8] MOORHEAD, K. y K. Reddy. 1988. Oxygen transport through selected aquatic macrophytes. *J. Environ. Qual* 17: 38-142.
- [9] REED S.C, E.J. Middelbrooks y R.W. Crites. 1995. Aquatic treatment systems. En: *Natural systems for waste management and treatment*. Mc Graw Hill, Inc. New York.
- [10] REDDY K.R., W. Patrick Jr y C.W. Lindau. 1989. Nitrificación – denitrificación at the plant–root–sediment interface in wetlands. *Limnol. Oceanogr.* 34: 1004-1013.
- [11] TCHOBANOGLOUS, G., R. Stowell, R. Ludwig y J. Colt. 1979. The use of aquatic plants and animal for the treatment of wastewater an over view. En: *Aquaculture systems for wastewater treatment /MCD 67*. General services administration, Denver, CO, Document No. EPA 430/9-80-006: 35.
- [12] TCHOBANOGLOUS, G. 1987. Aquatic plant systems for water treatment. En: *BOD removal in floating aquatic macrophyte based wastewater treatment systems*. *Wat Sci Tech* 19: 273 – 279.