

# Diseño y construcción de una planta piloto para el tratamiento de aguas residuales por lodos activados y su puesta en marcha para tratar vinazas de una destilería

## Design and construction of an activated sludge pilot plant for wastewater treatment and its start up using distillery vinasses

Delgado, José; Rennola\*, Leonardo y Lugo, Sharon  
Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, ULA,  
Mérida 5101, Venezuela  
\*leonardo@ula.ve

Recibido: 12-06-2006

Revisado: 25-10-2006

### Resumen

Se diseñó y construyó una planta piloto para el tratamiento de aguas residuales por lodos activados, constituida por un tanque de alimentación, una cámara de reacción, un sistema de aireación, un sedimentador, una bomba de reciclo y accesorios de conexión. La planta piloto puede ser utilizada para el tratamiento aeróbico de diversas aguas residuales. El caudal de alimentación puede variar entre 0.1-5.0 L/h. Dada la problemática ambiental ocasionada por las vinazas de las destilerías se utilizó la planta para tratar dichas aguas utilizando *Candida utilis* como cepa biológica. La remoción de DBO fue mayor a 89.5% y con respecto a DQO mayor a 33.3%.

**Palabras clave:** Planta piloto, lodos activados, vinazas.

### Abstract

An activated sludge pilot plant for wastewater treatment was designed and constructed. It consists on a feeding tank, a reaction tank, an aeration system, a settling unit, a recycle pump and connection accessories. The pilot plant can be used for aerobic treatment of a variety of wastewaters. The feeding flow can vary among 0.1-5.0 L/h. Given the environmental problem caused by the distillery vinasses, the pilot plant was used to treat its wastewaters using *Candida utilis*. The DBO and DQO removal was higher than 89.5% and 33.3% respectively.

**Key words:** Pilot plant, activated sludge, vinasses

### 1 Introducción

Las plantas productoras de etanol en Venezuela utilizan el proceso de fermentación de melazas de la caña de azúcar por ser uno de los más económicos. El alcohol producido en la etapa de fermentación contiene una gran cantidad de impurezas, por lo que es sometido a varias etapas de separación por destilación. Durante la producción de un litro de etanol se producen de 12-15 litros de vinazas (Sangave, P., 2006). Las vinazas son compuestos altamente coloreados, que contienen melanoidinas, una variedad de productos de la descomposición de la azúcar, antocianinas y taninos (Pandey, R.A., 2003). Adicionalmente, es un líquido

recalcitrante, con un pH ácido, cuya DQO varía entre 60.000-130.000 mg/L (Fitzgibbon et al., 1995; Harada et al., 1996). Así pues, el problema ambiental potencial de las vinazas debe ser atendido con cuidado especial.

Actualmente, la producción de etanol en Venezuela va dirigida al suministro de materia prima para la fabricación de bebidas alcohólicas (ron y aguardiente). Sin embargo, el interés en aumentar la producción de etanol, a partir de caña de azúcar, para incorporarlo como componente de las gasolinas, visualiza un aumento de la situación presente de disposición de las vinazas como contaminante al ambiente.

Por otro lado, no existe un método único para el tratamiento de las vinazas, ya sea por las diferencias en la com-

posición de las mismas, así como los costos asociados a las diferentes alternativas. Se les ha utilizado en forma directa aplicada como fertilizante en suelos, se les ha tratado parcialmente para la recuperación de algunos componentes, se les ha sometido a tratamientos biológicos (anaeróbicos y aeróbicos), evaporación e incineración (Sheehand, G. *et al.*, 1980).

El uso de hongos en tratamiento biológico de las vinazas ha sido estudiado por diferentes autores (Coulibaly, L. *et al.*, 2003; Shojaosadati, S. 1996), aunque la utilización de *Candida utilis* no ha sido reportada.

El objetivo del presente trabajo es el diseño y construcción de una planta piloto para tratar aguas residuales por lodos activados y su puesta en marcha para el tratamiento de vinazas de una destilería utilizando *Candida utilis*.

## 2 Materiales y métodos

### 2.1 Diseño y construcción de la planta piloto

#### 2.1.1 Volumen del reactor aireador

La planta piloto consta de un reactor aireador, un sedimentador secundario y su respectivo sistema de reciclo de lodo activado. El dimensionamiento del reactor se realizó combinando las expresiones de dos parámetros cinéticos del proceso: la tasa de utilización específica (U) y el período de residencia medio de las células ( $\theta_c$ ); obteniéndose la siguiente relación (Metcalf & Eddy, 1979):

$$V = \frac{\theta_c Q_0 Y (S_0 - S)}{X(1 + K_d \theta_c)} \quad (1)$$

donde:

$\theta_c$  = Período medio de residencia de las células.

$Q_0$  = Caudal del afluente residual a tratar.

Y = Fracción de sustrato convertida en biomasa.

$S_0$  = Concentración del afluente, como DBO ó DQO.

S = Concentración del sustrato que sale del reactor aireador.

X = Concentración de sólidos suspendidos volátiles en el reactor.

Kd = Coeficiente de mortalidad endógeno.

La ecuación anterior se evaluó para diferentes valores de volúmenes del reactor, tomando como parámetros de diseño (Metcalf & Eddy, 1979) de las variables los rangos de valores reportados en la Tabla 1 y de esta manera determinar el caudal de efluente necesario para cada caso y entonces seleccionar el volumen óptimo.

La evaluación de la Ec. 1 para las diferentes variables de diseño se realiza para valores de volumen del reactor comprendidos entre 40 y 80 litros, con lo cual es posible determinar también el caudal de afluente a utilizar para intervalos de volumen de 10 litros, permitiendo esto evaluar el funcionamiento del reactor en un amplio rango de valores.

Tabla 1. Valores de las variables de diseño (Kiely G., 1998)

TIPO DE PROCESO	$\theta_c$ días	Y mg/mg	X kg/m <sup>3</sup>	$S_0$ kg/m <sup>3</sup>	S kg/m <sup>3</sup>	Kd días
CONVENCIONAL	5-15	04-08	1.5-3	0.2-1.8	0.01	0.04-0.075
REACTOR DE MEZCLA COMPLETA	5-15	04-08	0.2-1.8	0.2-1.8	0.01	0.04-0.075
AIREACIÓN POR ETAPAS	5-15	04-08	0.2-1.8	0.2-1.8	0.01	0.04-0.075
AIREACIÓN MODIFICADA	0.2-0.5	04-08	0.2-1.8	0.2-1.8	0.01	0.04-0.075
ESTABILIZACIÓN POR CONTACTO	5-15	04-08	0.2-1.8	0.2-1.8	0.01	0.04-0.075
AIREACIÓN EXTENDIDA	20-30	04-08	0.2-1.8	0.2-1.8	0.01	0.04-0.075
PROCESO KRAUS	5-15	04-08	0.2-1.8	0.2-1.8	0.01	0.04-0.075
ALTA AIREACIÓN	5-10	04-08	0.2-1.8	0.2-1.8	0.01	0.04-0.075
SISTEMA CON OXÍGENO PURO	8-20	04-08	0.2-1.8	0.2-1.8	0.01	0.04-0.075

#### 2.1.2 Área superficial del sedimentador secundario

Se determina a partir del caudal de afluente seleccionado como caudal máximo de operación mediante el cual se estimó el volumen del reactor de aireación, y la carga superficial reportada como parámetro máximo de diseño por Kiely. La ecuación utilizada es la siguiente:

$$\text{Área superficial} = \frac{Q_0}{\text{Carga superficial}} \quad (2)$$

De donde la carga superficial tiene un valor de 40 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> - día

#### 2.1.3 Volumen del sedimentador secundario

El sedimentador es de cuerpo cilíndrico y fondo cónico, y su relación volumen respecto al reactor aireador es de 0,375. El área superficial se toma como referencia para fijar el diámetro mínimo de este equipo.

#### 2.1.4 Dimensionamiento de los accesorios de la planta y materiales de construcción.

Los accesorios son las mangueras que conectan el reactor con el sedimentador, los conectores, la bomba de reciclo, válvulas y estructura de sujeción de la planta. Una vez fijado el volumen y dimensiones del reactor de aireación y el sedimentador, así como también el caudal máximo a tratar, se dimensionan los accesorios tomando en cuenta la buena operatividad de la planta para las condiciones seleccionadas.

El material de construcción del reactor de aireación y

el sedimentador secundario deber ser resistente a la corrosión, lo mismo que las válvulas reguladoras y las líneas de flujo; además poseer la suficiente resistencia estructural para operar bajo la carga hidrostática del caudal de afluente a manejar y ser económicamente accesible. El material usado para la construcción del reactor y el sedimentador fue plexiglás, las líneas de flujo están constituidas por mangueras de polietileno y las válvulas reguladoras de flujo son válvulas de globo de PVC.

### 2.1.5 Ensamblaje de la planta piloto

La planta tiene la configuración general de una planta de tratamiento de aguas residuales con lodos activados convencional, no obstante se añadieron láminas divisoras en el interior del reactor para aumentar su versatilidad y funcionalidad.

### 2.2 Tratamiento de las aguas residuales de una destilería: Fase experimental

El estudio consta de las siguientes secciones: Selección y aclimatación del inóculo, caracterización del afluente, puesta en marcha de la planta piloto, muestreo y captación y finalmente determinación de los parámetros fisicoquímicos.

#### 2.2.1 Selección y aclimatación del inóculo

Se utilizó cepa liofilizada de *Candida Utilis* suministrada por el Laboratorio de Alimentos de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de Los Andes. Para lograr el crecimiento de la misma se sembró una pequeña cantidad en medio líquido Sabouraud en condiciones estériles, luego se llevó a incubación a una temperatura de 30 °C por un lapso entre 24 y 48 horas.

Cuando apareció turbidez en el medio, se procedió a sembrar en placas mediante la técnica de siembra en superficie por agotamiento, utilizando un medio sólido Sabouraud más antibiótico e incubando a 30 °C durante un período de 24 – 48 h. La cepa aislada se aclimató en la vinaza, realizando el llamado pie de cuba, el cual consiste en ir replicando a volúmenes mayores hasta obtener un inóculo rico en células jóvenes; en primer lugar se sembró la cepa por inoculación con asa de platino en 50 ml de vinaza (estéril a la cual se añadió como fuente de carbono 2% de glucosa, como fuente nitrogenada cloruro de amonio y como fuente de fósforo  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  según la relación DBO:N:P = 10:5:1), y fue sometida a agitación utilizando de desplazamiento horizontal durante 24 horas a una temperatura de 30 °C. Luego de este tiempo se tomaron muestras para realizar el conteo de células viables y una vez comprobado el crecimiento celular de la *Candida Utilis* en abundancia, se replicaron sucesivamente a fiolas de vidrio de volúmenes mayores, a saber, 100, 150, 300 y 1400 ml de vinaza concentrada hasta completar 2 L de inóculo; se efectuó la incubación de cada fiola a 30° C por 24 horas sometiendo a agitación su contenido con los volúmenes adecuados de vinaza

y el contenido inoculado de la fiola anterior.

#### 2.2.2 Caracterización del afluente

Fueron captadas tres muestras en días diferentes directamente de la tanquilla de almacenamiento de aguas residuales de la destilería Campo Elías en el Estado Mérida, después de finalizada la operación de fabricación del licor destilado y culminada la etapa de rectificación, durante tres semanas consecutivas de producción.

Los parámetros fisico-químicos evaluados fueron pH, contenido de azúcar, Turbidez,  $\text{DBO}^{20}_5$  y DQO. En la Tabla 2 se presentan los parámetros fisicoquímicos evaluados para la caracterización de la vinaza y el método empleado en cada caso.

Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos y biológicos evaluados

PARÁMETRO	MÉTODO	INSTRUMENTO O EQUIPO
pH	pH - metro	pH – meter – Hanna Instruments (H19321)
Contenido de azúcar	Fenol-sulfúrico	Espectrofotómetro
Demanda bioquímica de oxígeno ( $\text{DBO}^{20}_5$ )	Winkler modificación ácida	Botella de Winkler
Demanda química de oxígeno (DQO)	Oxidación química con dicromato de potasio	DO meter – Hanna Instruments HI – 8043
Turbidez	Nefelométrico (UNT)	Turbidímetro HF Instruments DRT 100B

#### 2.2.3 Puesta en marcha de la planta piloto

Se añadieron 2 litros del inóculo aclimatado y 40 litros de vinaza al reactor de la planta piloto, sometiéndolos a aireación durante 2 días, y se contaron las células cada dos horas para obtener la curva de crecimiento bacteriano.

En el presente estudio se realizaron 2 experiencias experimentales, en la Tabla 3 se presentan las características del afluente y el inóculo empleado en cada una.

Tabla 3. Datos correspondientes a cada corrida experimental

EXPERIENCIA	CARACTERÍSTICAS DEL AFLUENTE	INÓCULO EMPLEADO
1	Afluente diluido 1:1 (50% agua, 50% vinaza)	<i>Candida Utilis</i>
2	Afluente concentrado	<i>Candida Utilis</i>

### 2.2.4 Muestreo y captación

Para iniciar cada experiencia se procedió a fijar el caudal del efluente en 2,16 L/h y el reciclo en un caudal de 102,24 L/h. Una vez iniciada la experiencia se procedió a la captación manual de las muestras, lo cual se realizó directamente a la salida del sedimentador. El muestreo se realizó a intervalos de dos horas en el transcurso de cada prueba, por un periodo de 8 horas.

### 2.2.5 Determinaciones fisicoquímicas y biológicas

A las muestras tomadas durante la operación de la planta se les determinó sólo  $DBO^{20}_5$  y DQO, valor del parámetro del afluente el medido antes de ser sometido a aireación en la planta, y el valor en tiempo cero el medido en la primera muestra tomada luego de la aireación por dos días y justo donde comienza el conteo del tiempo para la prueba en desarrollo.

## 3 Resultados y discusión

### 3.1 Dimensionamiento del reactor aireador

En la Fig. 1 se ilustra, para el conjunto de parámetros promedio, en función de la modalidad del proceso, la relación lineal que existe entre el volumen del reactor aireador y el caudal del efluente residual a tratar.

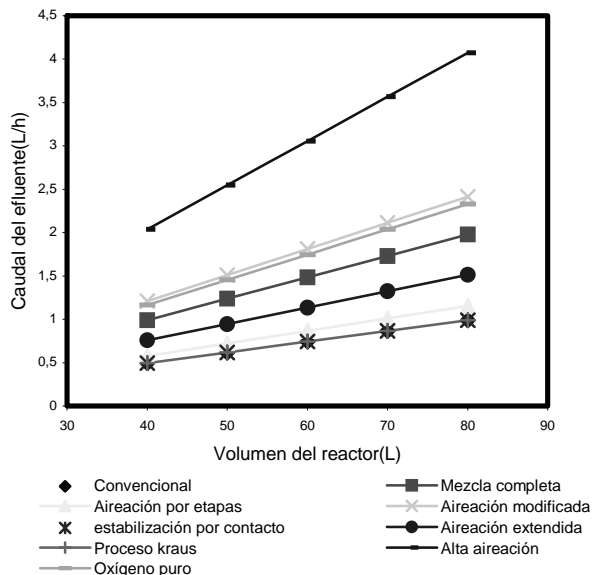


Fig. 1. Relación caudal de afluente vs volumen del reactor para parámetros promedio de diseño

Como se puede observar en la figura mostrada, para volúmenes del reactor de aireación comprendidos entre 40 y 80 litros, los caudales de afluente son relativamente pequeños, variando de acuerdo a la modalidad del proceso empleada, no obstante el caudal más bajo (0,4 L/h) corresponde a los procesos convencional y estabilización por contacto, y en contraposición al caudal de mayor valor (4,1

L/h) lo requiere el proceso de alta aireación. El valor máximo de caudal, que presentan las diferentes tecnologías, lo demanda el proceso de aireación modificada con parámetros de diseño mínimo (44,2 L/h).

Para facilitar el manejo de caudales de afluente y el transporte de la planta piloto, se decidió construir el reactor aireador de 60 L de capacidad. Es importante destacar que los valores de los parámetros de diseño en los cuales se fundamenta la figura mostrada, son representativos para estimar la relación que existe entre el caudal de afluente a tratar y el volumen del reactor, no obstante, una vez construida la planta piloto, ésta puede ser operada para el tratamiento de afluentes cuyas características no correspondan exactamente a las aquí especificadas, con la debida manipulación de los mecanismos y accesorios (válvulas, bomba de reciclo, etc) contempladas para tal fin.

Se adoptó la forma de paralelepípedo para el reactor con dimensiones de 60 x 50 cm de base y 30 cm de altura, lo cual aporta un volumen de 90 litros, lo que a su vez representa un 50% de sobrediseño para efectos de seguridad.

### 3.2 Dimensionamiento del sedimentador secundario

Aplicando la Ec. (2) para un caudal de licor mezclado de 60 l/h, que es a su vez mayor que el máximo gasto volumétrico de afluente residual a tratar en la planta (44 l/h), se obtuvo un área superficial mínima del sedimentador secundario de 0,036 m<sup>2</sup>.

La geometría seleccionada para el sedimentador es la de cuerpo cilíndrico de fondo cónico, tal como la mayoría de los clarificadores para sedimentar lodos; partiendo del área superficial calculada, y tomando en consideración que la sección transversal del equipo es circular, el radio R del sedimentador resulta en 10,7 cm.

Sin embargo se asignó un radio de 30 cm para garantizar flexibilidad de funcionamiento. La altura del cuerpo cilíndrico se fijó en 25 cm y la del fondo cónico en 10 cm, lo cual arroja un volumen total de 0,224 m<sup>3</sup>, resultado de la adición de ambas partes (cilíndrica y cónica).

### 3.3 Materiales de construcción y accesorios de la planta

Tanto el reactor aireador como el sedimentador secundario se construyeron de plexiglás, material transparente que permite llevar el seguimiento del proceso que ocurre en la planta.

Los principales accesorios del reactor lo constituyen: 3 láminas (móviles) de plexiglás, con una abertura rectangular, que dividen el reactor en 4 compartimientos de 12,5 cm cada uno y cuya función es aumentar el tiempo de residencia. En la Fig. 2 se presenta un esquema de la forma y configuración del sistema de láminas divisorias.

El afluente residual se alimenta y retira del reactor de aireación mediante conectores de bronce de 1/2" a 3/8", acoplados a válvulas de globo PAVCO de 1/2" de PVC; así mismo la alimentación del sedimentador secundario es su-

plida mediante una "Tee" de bronce de 1/2" conectada a un niple también de bronce donde confluyen las dos salidas del

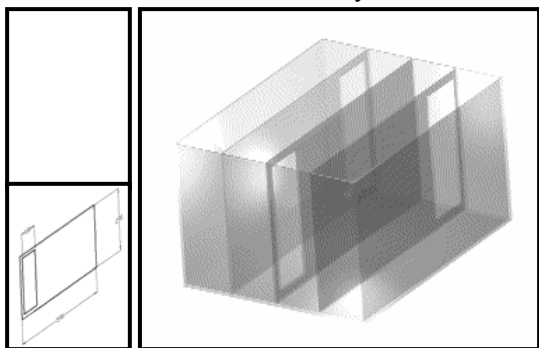


Figura 2. Esquema de láminas divisorias

reactor aireador, y posee una salida para el efluente clarificado de 1" de diámetro unida a un niple de hierro galvanizado y una válvula de globo PAVCO de 1".

Tanto el caudal de salida de lodos sedimentados como la purga de lodos se regulan mediante válvulas PAVCO de 1/2". Todas las tuberías conectoras de la planta son de poliuretano transparente de 1.2 centímetros de diámetro a excepción de las que comunican al reactor con el sedimentador, constituidas por codos de acero galvanizado de 1/2" de diámetro y manguera de poliuretano de 1" de diámetro.

El caudal de reciclaje es controlado mediante una bomba centrífuga de impulsor abierto marca LITTLE GIANT de 126.5 watts y caudal máximo de 662.22 l/h, conectada a un reóstato divisor de voltaje marca POWERSTAT de 10 Amp con rango de 0 a 120 voltios.

La aireación del reactor la suministra un compresor TWIN FISH de 50 watts diseñado para proporcionar 5000 l/h de aire a 25 °C y 1 atm. El aire es enviado desde el compresor hasta el reactor a través de mangueras de poliuretano de 1/8" y distribuido uniformemente por difusores rectangulares de piedra porosa ubicados en el fondo (12 difusores, 3 por compartimiento). A cada salida del compresor se colocó una válvula de aguja de 1/8" para controlar el suministro de aire.

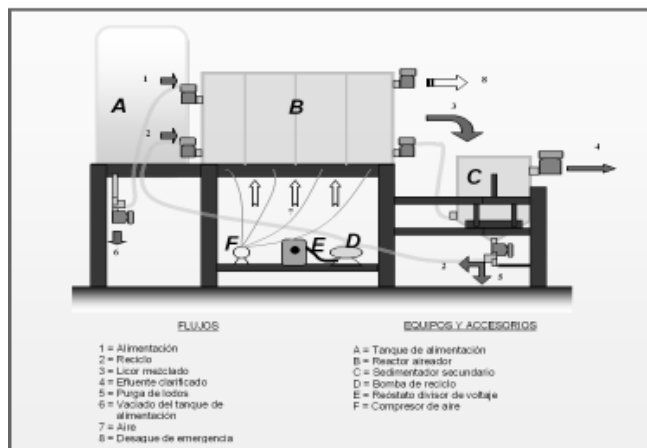


Fig. 3. Esquema de la planta piloto de tratamiento de agua con lodos activados

El afluente se alimenta por gravedad desde un recipiente plástico de 70 litros de capacidad equipado con una válvula PAVCO de 1/2". En la Fig. 3 se muestra el esquema general de la planta construida y en la Fig. 4 presentan fotos de las secciones de la planta.

### 3.4 Caracterización del afluente

En la Tabla 4 se presentan los valores promedio de los parámetros físico-químicos de la vinaza cruda.

Tabla 4. Caracterización de la vinaza cruda

PARÁMETRO	VALOR
pH	4.5
Turbidez	71.8
DBO (mg/L)	17075.7
DQO (mg/L)	71666.7

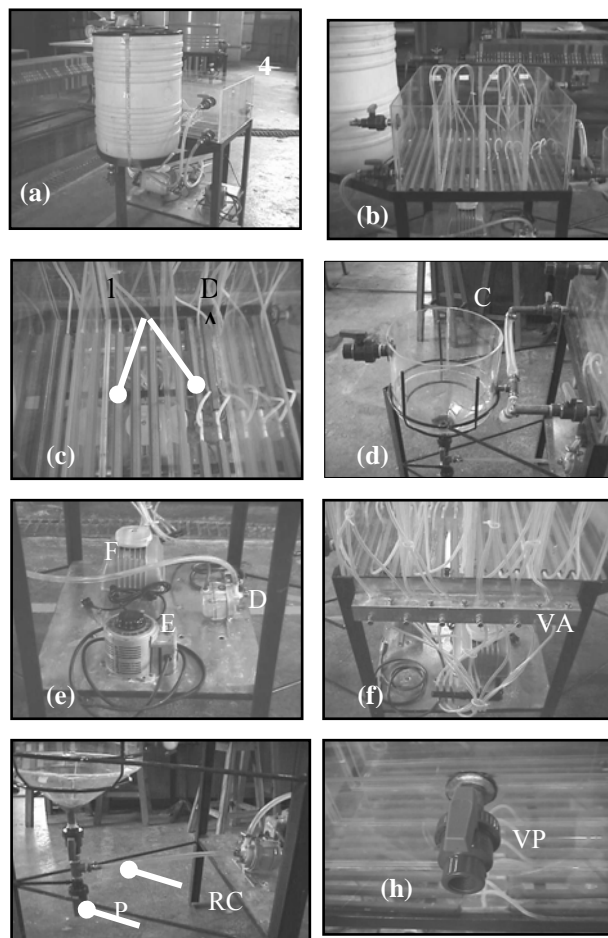


Fig. 4. Principales componentes de la planta piloto: (a) Tanque de alimentación[A]; (b) Reactor aireador[B]; (c) Difusores de aire[DA];

(d) Sedimentador secundario[C]; (e) bomba de reciclo[D], reóstato[E], Compresor de aire[F]; (f) Válvulas de aire[VA]; (g) Purga[P], reciclo[RC]; (h) Válvulas PAVCO[VP].

### 3.5 Puesta en marcha de la planta piloto

En las Figs. 5 y 6 se presenta el comportamiento de la DBO y la DQO para las dos experiencias realizadas.

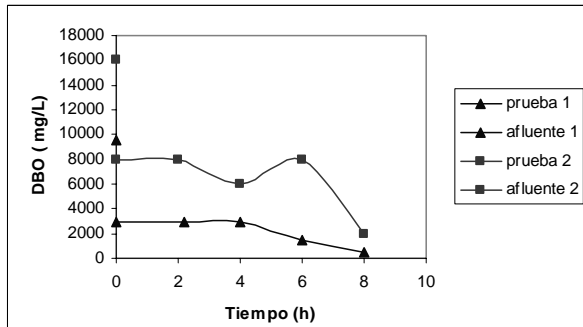


Fig. 5. Comportamiento de la DBO en las experiencias con afluente diluido, utilizando *Candida Utilis*

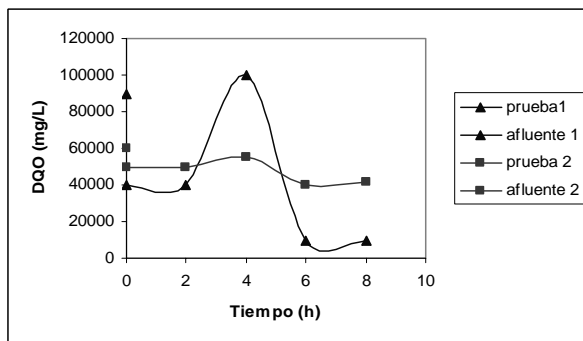


Figura 6. Comportamiento de la DQO en las experiencias con afluente diluido, utilizando *Candida Utilis*.

La remoción de la DBO, respecto al efluente, fue de 96.7 % y 89.5 % en 8 horas de tratamiento para cada una de las experiencias respectivamente.

En cuanto a la DQO, se obtuvo una remoción total de 88.9 % para la prueba 1 y de 33.3 % para la prueba 2; lo cual refleja la efectividad del tratamiento en la purificación del efluente.

Es importante resaltar que a pesar que ambos parámetros (DBO y DQO) disminuyeron al final del tratamiento, el comportamiento con el tiempo presenta máximos y mínimos, a excepción de la DBO para la prueba 1. Tales variaciones en la DBO y la DQO en función del tiempo, puede ser explicado en base al fenómeno de biosorción (absorción y adsorción), característicos de los procesos de lodos activados (Romero, J., 1999). Este fenómeno se basa en la capacidad que poseen los microorganismos de remover el alimento por absorción y adsorción. En la primera etapa la DBO disuelta (ó soluble) es adsorbida a través de la pared celular, mientras que en la segunda los microorganismos

mediante una película gelatinosa atrapan partículas finas suspendidas. Estas partículas no pueden ser utilizadas directamente por los microorganismos, por lo que estos secretan enzimas que descomponen ó disuelven dichas partículas en forma tal que el alimento pueda ser adsorbido a través de la pared celular. Dicho fenómeno indica que existe una disminución inmediata de la DBO soluble seguida de un aumento y finalmente una nueva reducción.

Por otra parte, las variaciones ya señaladas de la DBO y la DQO también puede ser explicadas por la tasa de crecimiento microbiana ( $\mu$ ) que de acuerdo al modelo matemático de Monod (Romero, J., 1999), para un proceso continuo de tratamiento, puede tomar cualquier valor entre cero (0) y  $\mu$  máximo, siempre y cuando se mantenga constante la concentración de sustrato, ya que si la concentración de nutrientes es relativamente baja el crecimiento es limitado. Es base a lo expuesto cuando  $\mu$  se encuentra cercana a  $\mu$  máximo la remoción de la DBO y la DQO es mayor, ocurriendo lo contrario cuando  $\mu$  es cercano a  $\mu$  mínimo. Lo expuesto anteriormente puede observarse en la Fig. 7.

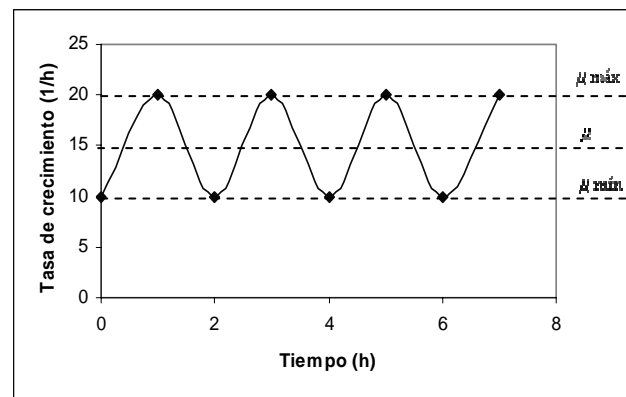


Fig. 7. Comportamiento de la tasa de crecimiento en función del tiempo

## 4 Conclusiones

- Se diseñó y construyó una planta piloto para el tratamiento de aguas residuales por lodos activados que consta de una unidad modular equipada con todos los accesorios necesarios para su manejo versátil, que permiten tratar una amplia gama de caudales de afluentes residuales.
- Debido a su sencilla estructura y operación y a los principios empleados en su funcionamiento hidráulico, la planta constituye una excelente herramienta pedagógica para la enseñanza de transporte de fluidos.
- Se demostró que el empleo de la *Candida Utilis* en procesos aeróbicos, para el tratamiento de efluentes de alta carga orgánica (DBO y DQO) permite alcanzar una disminución significativa de la DBO y DQO.
- Tomando en cuenta la disminución de la DBO y la DQO observada, se evidencia que el nuevo efluente aún posee un alto valor contaminante, que requerirá tratamiento adicional para adecuarlo a las exigencias sanitarias.



**Referencias**

- Coulibaly L, Gourene G y Agathos NS, 2003, Utilization of fungi for biotreatment of raw wastewaters, *African Journal of Biotechnology*, Vol. 2 No. 12, pp. 620-630.
- Fitzgibbon, JF y Nigam P, 1995, Biological treatment of distillery waste for pollution-remediation, *Journal of Basic Microbiology*, Vol. 35 No. 5, pp. 293-301.
- Harada H, Uemura N y Jayadevan J, 1996, Anaerobic treatment of a recalcitrant distillery wastewater by a thermophilic UASB reactor, *Bioresearch Technology*, Vol. 55 No. 3, pp. 215-221.
- Kiely G, 1998, *Ingeniería ambiental, fundamentos, entornos y sistemas de gestión*, pp. 682-725, McGraw-Hill, México.
- Metcalf y Eddy, 1979, *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse*, McGraw-Hill, USA.
- Pandey RA, Malhotra S, Tankhiwale A, Pande S, Pathe PP y Kaul SN, 2003, Treatment of biologically treated distillery effluent – a case study, *International Journal of Environmental Studies*, Vol. 60, pp. 263–275.
- Romero J, 1999, *Tratamiento de aguas residuales teoría y principios de diseño*, Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, Colombia.
- Sheehand GJ y Greenfield PF, 1980, Utilization, treatment and disposal of distillery wastewater, *Water Research*, Vol. 14, p. 257-277.
- Shojaosadati S, 1996, The use of biomass and stillage recycle in conventional ethanol fermentation, *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, Vol. 67, pp. 362-366.