

REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

APLICABILIDAD DEL PROCESO DE LODOS ACTIVADOS EN EL TRATAMIENTO DE EFLUENTES DE UNA INDUSTRIA PROCESADORA DE CAMARON

Lenin Herrera¹
* Suher Carolina Yabroudi¹
Verónica del Mundo¹
Ronald Ortega¹
Carmen Cárdenas¹

APPLICABILITY OF ACTIVATED SLUDGE PROCESS IN THE
TREATMENT OF EFFLUENTS FROM SHRIMP PROCESSING
INDUSTRY

Recibido el 10 de agosto de 2011; Aceptado el 17 de noviembre de 2011

Abstract

An activated sludge process for shrimp processing wastewater treatment had been studied. Initially, the volumetric flow of effluent per kilogram of processed shrimp was calculated; the result was 12.7 L/kg, and the average volumetric flow of discharge from the processing plant was 349250 L/d. After that, a characterization of the effluents of the plant was carried out, showing that most of the parameters analyzed don't achieve the effluents quality parameters established by the Venezuela's environmental requirements. Subsequently, a wastewater treatment system by activated sludge was simulated in a lab scale, using three continuous flow stirred-tank reactors with different residence times (4h, 6h and 8h), and the biokinetics constants were calculated, once pseudo-stationary conditions were reached in the continuous flow stirred-tank reactors; they were: $k=0.0057$ L/mgDQO.d, $Y_T=0.3904$ mgSSV/mgDQO and $k_d=0.1601$ d⁻¹. At last, the design of the wastewater treatment system for the shrimp processing plant was developed, and it results the following features: F/M of 0.21, biological solids retention time (θ_c) of 29 days, 2000 mg/L of activated sludge concentration, reactor's volume of 171 m³ and 8 hours of residence time. With this treatment system, 85% of COD, 96% of BOD, 86.4% of nitrogen and 27% of phosphor removal efficiencies are expected, based on the simulation of the wastewater system using continuous flow stirred-tank reactors.

Key Words: wastewater, shrimp, characterization, biokinetics constants, activated sludge.

¹ Centro de Investigación del Agua, Universidad del Zulia

* *Autor correspondiente:* Dirección de contacto. Ciudad Universitaria. Módulo Agropecuario. Sector Ziruma. Maracaibo, Estado Zulia. Código Postal 98. Venezuela. Email: yabroudic@yahoo.com

Resumen

Se realizó un estudio de tratabilidad biológica a los efluentes de una planta procesadora de camarón, ubicada en Santa Rosa de Agua, Estado Zulia (Venezuela). Inicialmente, se determinó el caudal de agua residual generado por la planta por kilogramo de camarón procesado, obteniéndose como resultado el valor de 12.7 L/kg, con un caudal promedio de descarga de 349250 L/d. Posteriormente se caracterizaron muestras de efluentes crudos para determinar la calidad de los mismos, lo que demostró que la mayoría de los parámetros analizados no cumplían con lo establecido por la normativa ambiental de la República de Venezuela, justificándose así la instalación de un sistema de tratamiento. Para soportar el diseño, se llevó a cabo un estudio a escala piloto del tratamiento mediante sistema de lodos activados en reactores de flujo continuo, considerando diferentes tiempos de residencia (4h, 6h y 8h), determinándose las constantes biocinéticas al alcanzar condiciones pseudo-estacionarias: $k=0.0057$ L/mg.DQO.d; $Y_T=0.3904$ mgSSV/mgDQO y $K_d=0.1601$ d⁻¹. A partir de estas, se predimensionó un sistema para tratar los efluentes de la planta procesadora con las siguientes características: relación F/M = 0.21, concentración de SSV en el licor mezclado del reactor igual a 2000 mg/L, edad de los lodos (θ_c) de 29 días, volumen del reactor de 171 m³ y tiempo de residencia de 8 horas. Con este sistema se espera obtener una eficiencia de remoción de DQO de 85%, DBO de 96%, nitrógeno de 86% y fósforo de 27%, con base en los resultados obtenidos de la simulación del sistema de tratamiento empleando reactores biológicos de flujo continuo.

Palabras clave: aguas residuales, camarón, caracterización, constantes biocinéticas, lodos activados.

Introducción

El Lago de Maracaibo se caracteriza por ser un cuerpo de agua dulce con características estuarinas debido a la particularidad de tener comunicación con el Golfo de Venezuela, esto permite el intercambio de fauna entre las dos zonas, de modo que diversas especies marinas cumplen su ciclo de crecimiento en el lago.

Entre la variedad de especies acuáticas destaca el Camarón Blanco (*Penaeus Schmittii Vannamei*), cuya abundancia hace rentable su comercio, incidiendo en el desarrollo de industrias procesadoras, situación que ha impactado en forma positiva en la generación de empleos desde el momento de la recolección, transporte, procesamiento y distribución de esta especie, creando un ambiente de seguridad para la inversión de nuevas empresas, tomando en cuenta que el 95% de la producción cuenta con proyección de exportación.

Debido a la cercanía de estas industrias al Lago de Maracaibo, todo desecho que puedan generar en todas sus etapas productivas, termina siendo dispuesto en este cuerpo de agua.

En el caso de las industrias instaladas en la Cuenca del Lago de Maracaibo, no se conocen estudios de tratabilidad biológica y de determinación de las constantes cinéticas para dichos procesos, por otra parte, en vista del esquema de procesamiento que estas emplean, las características de sus efluentes difieren de aquellos generados en industrias similares en otros países (Figura 1), cuyos sistemas de tratamiento de aguas residuales han sido diseñados considerando sus características particulares, en consecuencia no es posible adoptar los mismos

parámetros de diseño y soluciones técnicas para adecuar los efluentes según lo establecido en la normativa legal vigente (ICLAM, 2004).

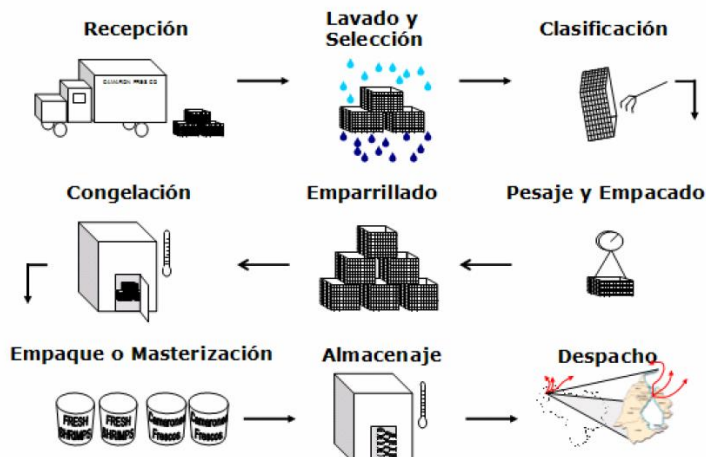


Figura 1. Diagrama de la industria procesadora de camarón bajo estudio

Considerando esta situación y atendiendo a la necesidad de diseñar e instalar sistemas de tratamiento de aguas residuales en cada una de estas industrias, surge el interés de realizar estudios que permitan proyectar los sistemas de tratamiento. De este modo, se presenta el desarrollo de un estudio experimental en el que se evaluó la tratabilidad biológica por proceso de lodos activados de los efluentes generados en una industria procesadora de camarón, ubicada en la localidad de Santa Rosa de Agua, Municipio Maracaibo del Estado Zulia (Venezuela).

Para cumplir con los objetivos planteados, en primer lugar, se caracterizaron muestras de agua residual industrial y doméstica producida en dicha planta; se determinó el volumen de agua residual generado por cada kilogramo de camarón procesado, posteriormente se simuló el tratamiento por proceso de lodos activados en escala de laboratorio a través de reactores de flujo continuo considerando tres diferentes tiempos de retención hidráulica, con la finalidad de obtener los parámetros requeridos para el cálculo de las constantes biocinéticas Y_T (coeficiente real de rendimiento relacionado al crecimiento), k (constante de velocidad de utilización de sustrato específica) y K_d (constante de proporcionalidad que representa la pérdida de biomasa debido a la respiración endógena por unidad de biomasa y tiempo) (ICLAM, 2004; Metclaf y Eddy, 2004; Benefield y Randall, 1980).

Metodología

Medición del caudal de la planta

Se cuenta con un único punto de toma de muestra, un tanque de dimensiones conocidas (área base de $9,1\text{m}^2$), donde se descargan los efluentes combinados (95% agua de proceso y 5% de origen humano). Para determinar el caudal de aguas residuales generado se midió la diferencia de altura alcanzada por el agua en intervalos de tiempo de 10 minutos. Esta diferencia de altura se multiplicó por el área de la base del tanque y se dividió entre el tiempo para cuantificar el caudal (volumen/tiempo). Este procedimiento se realizó en forma cuantitativa considerando un día de procesamiento, desde las 8:00a.m hasta las 4:00a.m del día siguiente, momento en que finalizaron las actividades del día considerado. Fue necesario conocer los datos de producción para ese día para obtener la relación volumen de agua por kilogramo de camarón procesado.

Caracterización del efluente crudo de la planta

Se realizaron dos tipos de caracterizaciones: la primera considerando la presencia de metabisulfito de sodio (MBS) en el efluente y la segunda, después de eliminado por proceso de aireación del efluente crudo de la planta.

La presencia de MBS se debe a que es empleado para prevenir la melanosis de los camarones, y su concentración dependerá de las exigencias del cliente al cual se le suministrará el producto, por lo que su concentración residual será variable. Este debe ser eliminado del agua a tratar ya que representa un problema en la operación y desempeño de un sistema de tratamiento por lodos activados.

Tabla 1. Análisis físico-químicos realizados durante la caracterización (APHA, 2006)

Parámetro	Método	Nº de Método
Demanda Bioquímica de Oxígeno ($\text{DBO}_{5,20}$)	Winkler	5210-B
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Colorimétrico (Reflujo Cerrado) para Concentraciones de Cloruro \leq a 2000mg/L.	5220-D
Nitrógeno Total Kjeldahl (NTK)	Volumétrico	4500-Norg.B
Fósforo Total (P-Total)	Colorimétrico	4500-P.B,E
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	Gravimétrico	2540-D
Sólidos Sedimentables (SS)	Volumétrico	2540-F
Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV)	Gravimétrico	2540-E
Alcalinidad total	Volumétrico	2320-B
pH		4500-H ⁺
Temperatura		2550
Cloro Residual	Colorimétrico	4500- Cl-B

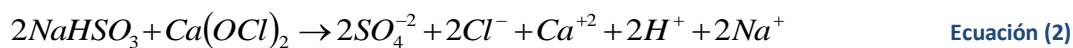
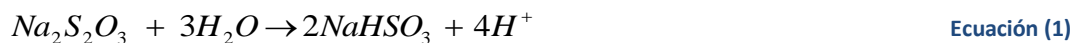
El proceso de caracterización, se efectuó durante tres diferentes días de operación, colectando muestras en intervalos de una hora desde las 7:00a.m hasta las 7:00p.m para un total de 13 muestras por día. Una vez captadas fueron envasadas en botellas plásticas de 1 litro de capacidad, sin adición de ningún tipo de reactivo, identificadas según la hora de muestreo y refrigeradas a una temperatura de 4 °C por un período aproximado de 4 horas hasta su caracterización. Posteriormente se preparó una mezcla compuesta tomando alícuotas iguales de estas para obtener una muestra representativa del efluente crudo de la planta para cada día de operación analizado. La caracterización físico-química de las muestras se realizó por duplicado siguiendo las especificaciones y procedimientos estandarizados descritos por la APHA. La Tabla 1 resume los parámetros y método aplicado (APHA, 2006).

Reducción de la concentración de metabisulfito de sodio (MBS) del agua residual por aeración

MBS es un agente reductor capaz de proveer un efectivo control contra el desarrollo de la melanosis del camarón, es por esto que su uso es de importancia para mantener los altos estándares de calidad del producto. En vista de que las aguas provenientes de la sala de proceso que descargan en el tanque de recolección contienen una cantidad residual considerable de MBS, fue necesaria su eliminación o neutralización de las aguas que serían sometidas a tratamiento en el sistema piloto, debido a que el MBS es un agente reductor y secuestrante de oxígeno que llega a competir con las bacterias heterotróficas del proceso de lodos activados por el consumo de oxígeno, afectando sus funciones biológicas y colocando en riesgo su supervivencia.

Esto llevó a evaluar alternativas de eliminación del MBS del agua residual. La primera fue la aireación, para lo cual se realizaron ensayos aireando un volumen de 10 litros de solución de MBS de concentración conocida, siendo cuantificada su concentración cada hora. Los datos obtenidos se utilizaron para estimar el tiempo necesario de aireación para eliminar el MBS, siendo este de 3 horas (Álvarez, 2000).

Otra alternativa fue neutralizar el MBS usando hipoclorito de calcio, las Ecuaciones 1 y 2 describen las reacciones involucradas. En primer lugar, el MBS ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) al entrar en contacto con el agua forma bisulfito de sodio (NaHSO_3), que posteriormente reacciona con hipoclorito de calcio ($\text{Ca}(\text{OCl})_2$) para producir sulfatos, cloruros, entre otros. Esta última reacción es la que consume el bisulfito. Esta alternativa solo se aplicó para concentraciones de MBS en el agua a tratar superiores a 7000 ppm (Álvarez, 2000).



Simulación del sistema de tratamiento a escala laboratorio

El sistema piloto de tratamiento por lodos activados estaba conformado por tres reactores biológicos en flujo continuo, en el que fue evaluada la tratabilidad del efluente y determinación de las constantes biocinéticas considerando diferentes tiempos de residencia para cada uno: 4, 6 y 8 horas, manteniendo una concentración de lodo igual para todos los casos de 2000 mg/L. El diseño de los reactores está basado en el modelo de Eckenfelder y Colaboradores (1980). Estos están conformados por láminas de plexiglass y constan de una cámara de aireación (7 L) y otra de sedimentación (3 L), ambas separadas por medio de una guillotina o bafle que a su vez permitía el paso del agua residual junto con el lodo de una cámara a otra, lo que permitió mantener el reciclaje y recirculación del lodo.

La alimentación del agua residual se introdujo por el tope de la superficie líquida de la cámara de aireación, a una tasa de flujo controlada para mantener el tiempo de residencia en cada reactor. El aire en la cámara de aireación se suministró uniformemente, mediante un dispersor de plástico con una serie de perforaciones que permitieron la difusión del aire en varios puntos del reactor, promoviendo de esta forma la mezcla completa en esta sección. Es importante acotar que previo a ser alimentado a los reactores, el agua de proceso colectada a la salida del tanque de recepción de la empresa procesadora era previamente aireado para lograr la eliminación del MBS (Eckenfelder *et al.*, 1980; Metcalf y Eddy, 1996).

Determinación de las constantes biocinéticas

Una vez que el proceso alcanzó condiciones pseudo-estacionarias para cada tiempo de residencia evaluado, se seleccionaron los datos necesarios para determinar por medio del modelo desarrollado por Benefield y Randall (1980), las constantes biocinética k (Ecuación 3) y Y_T y K_d (Ecuación 4).

$$\frac{Q(S_o - S_e)}{XV_a} = q = KS_e \quad \text{Ecuación (3)}$$

$$q = \frac{1}{Y_T} \mu + \frac{K_d}{Y_T} \quad \text{Ecuación (4)}$$

Q: Caudal
Va: Volumen del tanque de aireación
So: Concentración de sustrato inicial
Se: Concentración de sustrato final
X: Concentración de biomasa activa

q: Velocidad de utilización de sustrato específica
k: Velocidad máxima específica de utilización del sustrato
 μ : Velocidad de crecimiento específica
 Y_T : Coeficiente de crecimiento
 K_d : Constante de respiración endógena

La Ecuación (3) representa una línea recta con pendiente k cuando se graficó $Q(S_o - S_e)/XV_a$ versus S_e ; mientras que la Ecuación (4) representa una línea recta con pendiente $1/Y_T$ e intercepto K_d/Y_T cuando se grafica $Q(S_o - S_e)/X \cdot V_a$ versus μ . Con base a los resultados de los análisis realizados, se procesaron los datos y se ajustaron las rectas a fin de determinar los valores de Y_T , k y K_d .

Resultados y Discusión

Determinación de caudales

La Figura 2 muestra las grandes variaciones en el comportamiento del caudal de entrada hacia el tanque de recolección de agua (medidos cada 10 minutos), esto se debe a que son realizadas distintas actividades dentro de la empresa procesadora a lo largo de un día de labor: procesamiento de camarones enteros, descabezado y remoción de colas; además de limpieza de las áreas de operaciones: salas de proceso, área de recepción, cavas, cestas, baños, etc. No existe un horario definido para cada una de estas actividades, esto dependerá de la demanda del producto en determinado momento, de la cantidad de camarón que se reciba y procese y del número de personas laborando.

Para determinar el volumen total generado por la planta para un día de trabajo (representado por el área bajo la curva de la Figura 2), se recurre al método de Simpson, obteniéndose un volumen de 168647 L, siendo la cantidad de camarón procesado de 13300 kg. Dividiendo estos valores se obtuvo una relación de 12.7 L/kg de camarón.

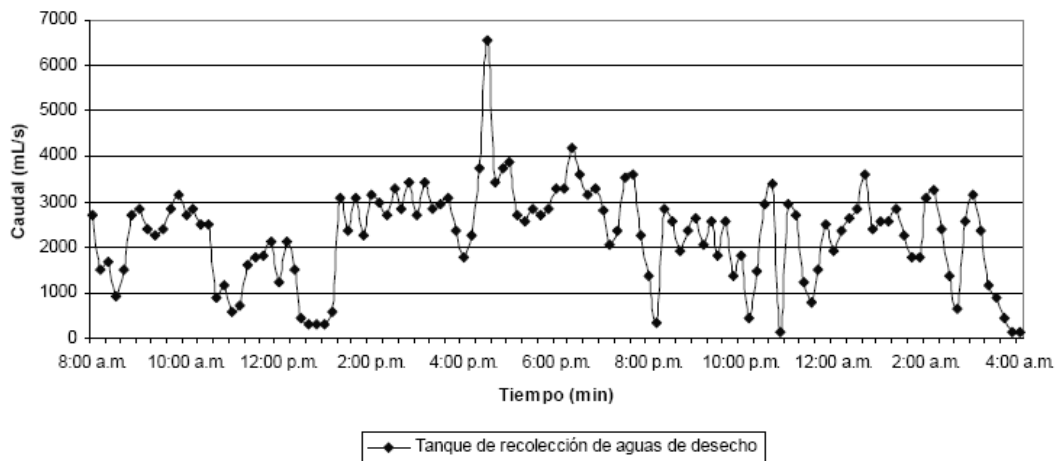


Figura 2. Comportamiento diario del caudal a la salida del tanque de recolección

Según información suministrada por la empresa, la cantidad máxima que puede procesarse en un día es 40000 kg, que al multiplicarlo por la relación 12.7 L/kg, se obtiene el caudal máximo operacional de 508000 L/d. Este no fue utilizado como medida de diseño, ya que sólo se obtiene cuando se procesa la máxima cantidad de camarón y esto acontece eventualmente. Para calcular el caudal de diseño se empleó la cantidad de camarón en promedio que se procesa (27500 kg), obteniéndose un caudal promedio 349250 L/d, redondeado a 350000 L/d.

Caracterización del efluente crudo

Los resultados de los análisis realizados al efluente crudo de la planta durante tres días de caracterización se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2: Caracterización del efluente

Parámetros	Unidades	Día 1*	Día 2**	Día 3***	Límite Máximo Normativa Legal
Temperatura	°C	27	26	28	25-30
pH	-	8.65	6.21	8.85	6-9
Alcalinidad Total	mg/L	510	500	260	No aplica
DQO	mg/L	790	1201	791	350
DBO _{5,20}	mg/L	435	850	490	60
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	156	200	114	80
Sólidos Sedimentables	ml/L	2	2,5	0,7	1
Nitrógeno Total Kjeldahl (NTK)	mg/L	77	90	63	40
Fósforo Total	mg/L	4	2	3	10

*Día 1: limpieza de las áreas de operaciones, salas de baño y otras áreas; procesamiento en menor proporción de camarones enteros y descabezado.

**Día 2: Procesamiento de camarones enteros, descabezado, remoción de colas; recepción de materia prima y limpieza (en menor proporción) de las principales áreas de la planta.

***Día 3: Procesamiento de camarones enteros y limpieza de las principales áreas de la planta.

Comparando los valores con el Decreto 883 (Gaceta Oficial N°. 5021, 1995) que fija los valores máximos que debe cumplir un efluente para descarga o disposición en cuerpos de agua, destaca que los valores de DQO, DBO, SST e NTK se encuentran fuera de normativa [Gaceta Oficial N°. 5021, 1995; Calderón y Ramírez, 2004]. Debemos considerar que el efluente fue sometido a una aireación previa de los ensayos a escala piloto, con el objetivo de eliminar el MBS del efluente, esto llevó a una reducción en el contenido de materia orgánica cuantificada como DQO y DBO (Tabla 3), sin embargo continúan fuera de los límites establecido por el organismo ambiental de la República de Venezuela.

Tabla 3. Parámetros físico-químicos correspondientes a tres días de caracterización del efluente crudo pre-aireado

Parámetros	Unidades	Día 1	Día 2	Día 3
pH	-	7.22	6.24	3.02
Alcalinidad Total	mg/L	185	21	0
DQO	mg/L	504	341	661
DBO _{5,20}	mg/L	230	176	215
NTK	mg/L	38	18	25

Comportamiento del Sistema Piloto de Tratamiento

Los resultados obtenidos durante el estudio experimental, mostrados en la Tabla 4, fueron obtenidos una vez aclimatado el lodo y estabilizados cada uno de los sistemas (condiciones pseudo-estacionarias alcanzadas en una semana, aproximadamente), siendo los porcentajes de remoción de DQO, DBO y NTK elevados.

Tabla 4. Comportamiento del sistema a escala de laboratorio en flujo continuo

Días	SSV _i	SSV _f	SSVLM	DQO _i	DQO _f	%Rem DQO	DBO _i	DBO _f	%Rem DBO	N _i	N _f	%Rem N	P _i	P _f	%Rem P
4 horas															
1	58	25	2410	390	129	67	102	14	86	78	23	71	5	3	27
2	54	12	2380	464	135	71	214	7	97	88	35	61	4	3	29
3	57	22	2330	434	172	60	150	12	92	76	14	82	4	3	23
4	60	14	2380	419	138	67	205	8	96	79	19	76	3	3	22
5	48	10	2400	392	43	89	199	10	95	88	16	82	4	3	26
6 horas															
1	58	25	2010	390	93	76	102	13	87	78	14	83	5	4	25
2	54	9	2230	464	157	66	214	5	98	88	20	77	4	3	25
3	57	12	2230	434	145	67	150	11	93	76	14	81	4	3	19
4	60	7	2260	419	42	90	205	6	97	79	26	67	3	2	28
5	48	9	2240	392	47	88	199	3	99	88	13	85	4	3	26
8 horas															
1	58	20	2190	390	86	78	102	10	90	78	23	71	5	4	27
2	54	10	2180	464	60	87	214	6	97	88	15	83	4	3	25
3	57	5	2210	434	110	75	150	8	95	76	10	87	4	3	24
4	60	9	2230	419	17	96	205	5	98	79	15	82	3	2	28
5	48	7	2200	392	30	92	199	9	96	88	16	82	4	3	25

SSV_i: Sólidos suspendidos volátiles del afluente
 SSV_f: Sólidos suspendidos volátiles del efluente
 SSVLM: Sólidos suspendidos volátiles en el reactor
 DQO_i: Demanda química de oxígeno del afluente
 DQO_f: Demanda química de oxígeno del efluente
 %Rem DQO: Porcentaje de remoción de DQO
 DBO_i: Demanda bioquímica de oxígeno del afluente

DBO_f: Demanda bioquímica de oxígeno del efluente
 %Rem DBO: Porcentaje de remoción de DBO
 N_i: Concentración de nitrógeno total en el afluente
 %Rem N: Porcentaje de remoción de nitrógeno
 P_i: Concentración de fósforo total en el afluente
 P_f: Concentración de fósforo total en el efluente
 %Rem P: Porcentaje de remoción de fósforo

La Tabla 5 agrupa los parámetros requeridos en la determinación de las constantes biocinéticas.

Tabla 5. Parámetros requeridos para determinar las constantes biocinéticas

Tiempo de Residencia (horas)	Q (L/d)	V (L)	q (d ⁻¹)	DQO _f (mg/L)	θ _c (d)	μ (d ⁻¹)
4	51	8.5	0.713	129	8.5	0.117
6	34.6	8.5	0.563	93	29	0.033
8	25	8.3	0.437	86	27	0.037

Q: Caudal

V: Volumen del reactor

q: Velocidad de utilización se sustrato específica

DQO_f: Demanda química de oxígeno en el efluente

θ_c: Edad del lodo

μ: Velocidad de crecimiento específica

La Figura 3, usada en la determinación de la constante biocinética k, muestra los puntos correspondientes a cada tiempo de retención hidráulica estudiado. Cada punto representa el comportamiento de cada reactor durante un día de tratamiento, donde la recta formada no presenta una correlación igual a uno, ya que el sistema de lodos activados alcanzó un estado pseudo-estacionario, siendo la pendiente el valor de la constante de utilización de sustrato k, de 0.0057 L/mgDQO.d. De modo similar se obtuvieron las constantes Y_T y K_d (Figura 4), en este caso la pendiente de la recta representa el inverso de la constante de crecimiento Y_T (0.3904 mgSSV/mgDQO) y el intercepto con el eje de las abscisas representa la relación K_d/Y_T, donde K_d es igual a 0.1601 d⁻¹ (Benfield y Randall, 1980; Metcalf y Eddy, 2004).

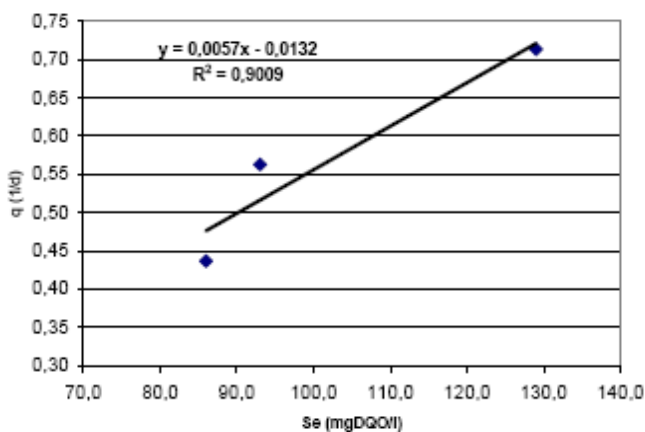


Figura 3. Constante biocinética k

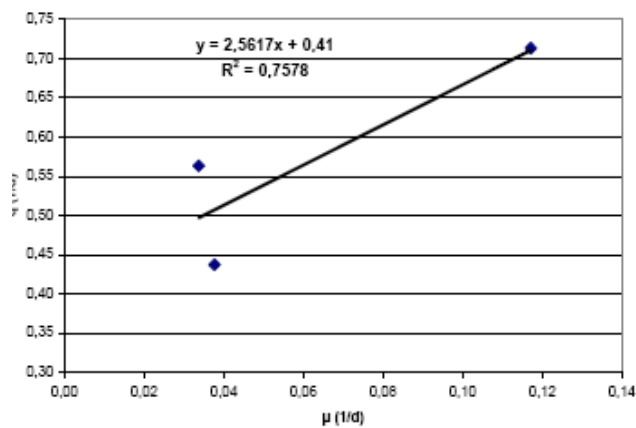


Figura 4. Constante biocinética Y_T y K_d

Conclusiones

El estudio demostró la aplicabilidad del proceso de lodos activados en el tratamiento de efluentes de una industria procesadora de camarón siendo determinados los parámetros cinéticos: $k=0.0057\text{L/mgDQO}\cdot\text{d}$, $Y_T = 0.3904 \text{ mgSSV/mgDQO}$ y $K_d = 0.1601 \text{ d}^{-1}$ a partir de los cuales se pre-dimensionó un sistema de tratamiento para tratar los efluentes crudos provenientes de la planta, con las siguientes características: caudal de diseño: $350 \text{ m}^3/\text{d}$, concentración de SSVLM en el reactor: 2000 mg/L , relación F/M: 0.21, edad de los lodos: 29 días, tiempo de residencia: 8 horas, volumen del reactor: 171 m^3 y caudal de aire de $8666 \text{ m}^3/\text{d}$.

Referencias bibliográficas

- Álvarez, M (2000) Evaluación de tres metodologías de tratamiento con metabisulfito de sodio en la cosecha de camarones enteros para prevenir melanosis. Zamorano, Honduras.
- APHA-AWWA-WEF (2006) Standard methods for examination of water and wastewater. American Public Health Association. 21 ed. New York.
- Benfield, L. y Randall, C (1980) *Biological Process Design for Wastewater Treatment*. Editorial Prentice-Hall. USA. 51, 53-56, 131-134, 136, 190-193, 210-217 pp.
- Eckenfelder W. y Wesley Jr. (1980) *Principles of Water Quality Management*. USA. 131-142pp.
- ICLAM (Instituto para el Control y Conservación de la Cuenca del Lago de Maracaibo). Gerencia de Control y Auditoría Ambiental, División de Desechos Tóxicos. (2004) *Evaluación físico-química y bacteriológica de los efluentes líquidos industriales*. Informe técnico. Maracaibo, Venezuela.
- Metcalf y Eddy (2003) *Wastewater Engineering. Treatment and Reuse*. 4 ed. Editorial McGraw Hill. USA. 659-789pp.
- Gaceta Oficial de la República de Venezuela, 5021 (1995) Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos (Extraordinaria). Decreto N° 883.