

Experimental determination of kinetic constants, stoichiometric coefficients, nitrogen content and heavy metals in an activated sludge pilot plant

Oleyda B. Morón F., Trina Torres and Oneida E. Morón-Fuenmayor

*División de Postgrado, Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia,
Apartado 526, Maracaibo, Venezuela.*

Abstract

An activated sludge pilot plant, made up of four (4) aeration tanks and a secondary clarifier, was set up to compare the values of kinetic constants (K, K_s, K_o) and stoichiometric constants (Y, K_d, a, b) with those obtained in laboratory scale experiments and in the literature. Nitrogen content and heavy metals were also determined. The experiment lasted 22 days. When the results were compared, it was found that the maximum specific growth K_o , was lower (2,46 1/d) than the COD and larger than the BOD (1,62 1/d) with respect to the laboratory scale experiments but within the range reported in the literature.

Specific growth constants K , COD and DBO were larger than both the laboratory scale and the literature. For the kinetic growth K_s , the COD was smaller (47,26 mg/l) and the BOD was larger (22,23 mg/l) than the results, respectively, and within the range of the literature data. With respect to COD and BOD, comparison showed that K_d , the endogenous decay coefficient, was lower: 0.058 1/d and 0.014 1/d, respectively. For the sludge production coefficient Y , the COD and the BOD were all lower (0,18;0,23). For the coefficient of oxygen demand COD was larger (0,11) than the laboratory scale results while BOD was larger (0,16) than the laboratory scale results. For the coefficient of oxygen demand b (0,025 mgO₂/mgVSS) the COD was lower than the laboratory scale experiment and the literature data and the BOD was higher than the laboratory scale experiment. The values for ammonium nitrogen and nitrate were both within the literature range. Heavy metals in water were found in trace quantities. A sludge age of 15 days is recommended since it provided better percentage removal with respect to COD and BOD.

Key words: Kinetic constant, stoichiometric coefficient, activated sludge.

Determinación experimental de constantes cinéticas, coeficientes estequiométricos, y contenido de nitrógeno y metales pesados, en una planta piloto de lodos activados

Resumen

Se utilizó una planta piloto de lodos activados, conformada por cuatro (4) tanques aeradores y de un (1) sedimentador, con el objeto de comparar los valores de las constantes cinéticas (K, K_s, K_o) y de los coeficientes estequiométricos (Y, K_d, a, b) con los valores obtenidos a escala de laboratorio y los reportados por la literatura y determinar el contenido de nitrógeno y metales pesados. El ensayo tuvo una duración de 22 días. Al comparar los resultados, se observó que la constante máxima de utilización de sustrato K_o , fue menor (2,46 1/d) con respecto a la DQO y mayor la DBO₅ (1,62 1/d) con respecto a

escala de laboratorio y dentro del rango reportado por la literatura. La constante específica de utilización de sustrato K , con respecto a la DQO y a la DBO₅ fueron mayores que los obtenidos a escala de laboratorio y de la literatura. La constante cinética de saturación K_s , con respecto a la DQO fue menor (47,26 mg/l) y la DBO₅ fue mayor (22,23 mg/l) que los obtenidos a escala de laboratorio y dentro del rango reportado por la literatura. El coeficiente de respiración endógena K_d con respecto a la DQO y la DBO₅ fue menor (0,058 l/d; 0,014 l/d) respectivamente, cuando se compararon. El coeficiente de producción de lodos Y fue menor tanto para la DQO como para la DBO₅ (0,18; 0,23). El coeficiente de utilización de oxígeno a fue mayor (0,11) con respecto a la DQO pero menor que el reportado por la literatura, la DBO₅ fue mayor (0,16) que el valor reportado a escala de laboratorio. El coeficiente de utilización de oxígeno b fue de 0,025 mgO₂/mgSSV para DQO, cuyo valor es menor con respecto a escala de laboratorio y de la literatura, la DBO₅ fue mayor (0,043 mgO₂/mgSSV) con respecto a escala de laboratorio. Con respecto a los valores del nitrógeno amoniacal y nitrato, ambos se encuentran dentro del rango reportado en la literatura. Los metales pesados en el agua se presentan en trazas. Se recomienda un c de 15 días ya que se obtuvo una mejor remoción con respecto a la DQO y DBO₅.

Palabras claves: Constantes cinéticas, coeficientes estequiométricos, tratamiento biológico, lodos activados.

Introducción

Las aguas residuales son una consecuencia derivada del uso del agua para el abastecimiento municipal, comercial e industrial. Su tratamiento y disposición final son imperativos para la preservación de las masas hídricas y completar de ésta manera la acción conservadora que exigimos como ambientalistas. Existen una serie de formulaciones matemáticas descritas por diferentes autores [1,2] que permiten ligar la dinámica de las diferentes operaciones y procesos unitarios del tratamiento biológico de aguas residuales, sirviendo como instrumento de estudio optimizando los diseños de las plantas de tratamiento. El desarrollo del proceso de lodos activados, ha marcado un avance importante en el tratamiento secundario de aguas residuales. Es un proceso biológico en que los organismos vivos aeróbicos y los sólidos orgánicos, se mezclan íntimamente en un medio ambiente favorable para la descomposición aerobia de los sólidos. Como el medio ambiente está formado por las mismas aguas residuales, la eficiencia del proceso dependerá de que se mantenga continuamente oxígeno disuelto en una masa activa de microorganismos, alimento y otras condiciones ambientales durante todo el tratamiento.

Las aguas residuales contienen sólidos suspendidos y coloidales, de manera que, cuan-

do se agitan en presencia de aire, los sólidos forman núcleos sobre los cuales se desarrolla vida biológica, pasando gradualmente a formar partículas más grandes de sólidos que se conocen como lodos activados. Estos lodos, tienen la propiedad de absorber ó adsorber la materia orgánica coloidal y disuelta incluyendo el amoníaco de las aguas residuales con lo que disminuye la carga contaminante. Los organismos biológicos utilizan como alimento el material absorbido, convirtiéndolo en nuevos organismos vivos, gases y sólidos insolubles no putrefactos. La idea de este proceso es reducir la carga orgánica del agua residual a valores tolerables por la masa receptora, antes de descargarla a la corriente. Para determinar las constantes cinéticas, se formuló el modelo de Michaelis-Menten [1], donde se explica la cinética de una reacción enzimática. La determinación de los coeficientes estequiométricos (Y, K_d, a, b) está asociada con la producción neta de lodos, la cual es importante en el tratamiento biológico de las aguas residuales. Dado que una porción del sustrato aparece posteriormente como células biológicas, se relaciona la velocidad de consumo de sustrato con la velocidad de producción celular.

En la mayoría de los sistemas de tratamiento biológico de agua residual, se trabaja en condiciones de inanición (poca concentración de sustrato), en estas condiciones un término cinético que toma en cuenta la disminución de la

biomasa por muerte celular ó respiración endógena [3,4].

El oxígeno es requerido con tres finalidades en el tratamiento biológico: la primera, oxidar el sustrato para proveer la energía necesaria por las células, la segunda, para ser usado en el proceso de respiración endógena y la tercera para mantener una concentración razonable en el tanque de aeración. Existen varias ecuaciones [1,4] que permiten estimar el consumo de oxígeno.

En el tratamiento biológico es importante determinar el nitrógeno para controlar la nitrificación, reduciendo al mínimo los costos en el tratamiento aeróbico. El nitrógeno es un nutriente ó bioestimulante, esencial para el crecimiento de protistas y plantas. Es básico en la síntesis de proteínas, requiriéndose información del mismo para valorar la tratabilidad del agua residual municipal.

Por otra parte, las sales ó compuestos de metales pesados son solubles algunos de ellos en el agua, en un grado que depende de la calidad de la misma. La estabilidad de la solución de la sal ó del compuesto, puede dar lugar a que ellos permanezcan en el agua durante mucho tiempo. Estos compuestos son necesarios en los procesos biológicos en bajas concentraciones y pueden ser tóxicos a concentraciones mayores.

Así, el objetivo de éste estudio es la construcción de una planta piloto de lodos activados para determinar las constantes cinéticas y de los coeficientes estequiométricos que intervienen en la remoción de sustrato, en la producción de lodos, en los requerimientos de oxígeno, en el contenido de nitrógeno y metales pesados como componentes del sistema de tratamiento biológico de aguas residuales domésticas.

Metodología Experimental.

Las premisas sobre las cuales operaran los reactores de flujo continuo serán: -La concentración del sustrato S (medido como DBO) en el tanque de aeración permanecerá constante, ésto se corresponde generalmente a bajas concentraciones de sustrato ya que, el reactor se diseña

para remover la mayor cantidad de sustrato afluente. -En un reactor de flujo continuo en condiciones de equilibrio, la concentración de los sólidos suspendidos volátiles, la cual se toma como una medida de la biomasa, se mantendrá constante en un valor determinado. Esto se consigue reciclando al tanque de aeración una cantidad de lodos, pudiendo ser entre un 25 ó 30% del volumen que entra en el reactor de diseño.

Se consideraron cinco etapas para la determinación experimental de las constantes cinéticas, coeficientes estequiométricos, contenido de nitrógeno y metales pesados presentes en la planta piloto de lodos activados.

1- Instalación de la planta piloto : Para la simulación del tratamiento biológico en la planta de lodos activados, se empleó el tipo de reactor de flujo continuo con mezcla completa y recirculación de lodos (Figura 1). La planta estuvo ubicada en las cercanías de las Lagunas de Oxidación, constituida por cuatro (4) tanques de hierro dulce (tanques de aeración), con una capacidad de 1000 l y de un (1) tanque de hierro dulce (tanque sedimentador), con una capacidad 2,60 m³. En él se definen cuatro cámaras que corresponden a cada tanque de aeración. En el fondo de cada cámara se disponían de tolvas para la sedimentación del lodo, parte de este lodo (~25-30%) era recirculado mediante bombeo al tanque de aeración, produciéndose la activación del mismo. La alimentación de los diferentes tanques se hizo mediante bombeo, desde una fosa, en la cual se sedimentaba el agua residual municipal. Conocido el caudal y el volumen del tanque, se determinó el tiempo de retención hidráulico de cada tanque. Al agua contenida en los tanques se les suministraba aire mediante difusores, alimentados por un compresor.

2- Proceso de aclimatación de los microorganismos : Este proceso consistió en agregar un volumen de lodo semilla al tanque de aeración, completando su volumen con agua residual en estudio. El lodo semilla utilizado proviene de las lagunas de oxidación y el agua proviene del colector de la zona norte de la ciudad de Maracaibo. El conjunto de lodo semilla-agua residual, se sometió a un proceso de mezcla completa, incorporando aire al tanque.

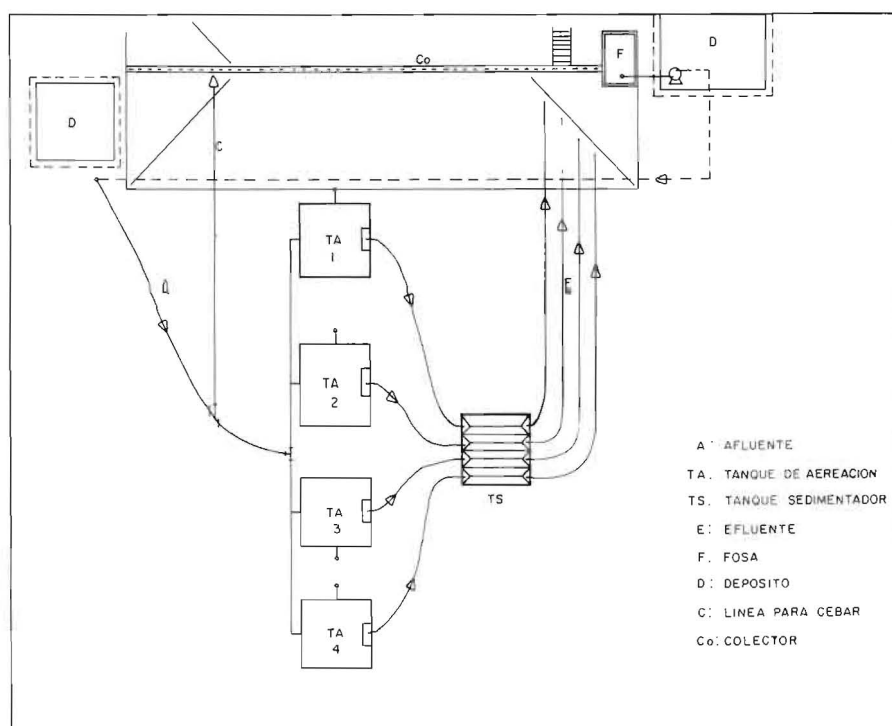


Figura 1. Instalación y abastecimiento de la planta piloto de lodos activados

El reactor trabajó como reactor por carga en esta etapa, permitiendo alcanzar concentraciones de sólidos suspendidos volátiles de 2300-2900 mg/l. Esta etapa tuvo una duración de 1 semana.

3- Periodo de simulación del tratamiento: Se inició el bombeo de agua residual, regulando el caudal a 0,1 l/s. Los tiempos de retención celular (θ_c) fueron de 5, 10, 12,5 y 15 días para los tanques 1, 2, 3 y 4 respectivamente. A cada tanque se le purgaba 200, 100, 80 y 65 l/d respectivamente. El caudal recirculado era de 0,03 l/s.

4- Operación de los reactores hasta alcanzar las condiciones de equilibrio : Estas condiciones se alcanzaron cuando la DBO_5 del efluente y la velocidad de consumo de oxígeno

Wheaton, previamente calibrado. Transcurridas cuatro semanas de operación, se alcanzaron las condiciones señaladas.

5- Programa de muestreo : Una vez alcanzadas las condiciones de equilibrio se efectuó el muestreo según lo especifica la Tabla 1.

Los cálculos para determinar las constantes cinéticas (K, K_o, K_s) en un reactor de flujo continuo, se realiza cuando el sistema esté en equilibrio, siendo esto cuando el sustrato en el reactor sea igual a cero, linearizándose la ecuación mediante el método de Lineweaver-Burk [2] a la siguiente expresión matemática:

$$\frac{t \cdot X}{S_o - S_e} = K_s / K_o (1/S) + 1 / K_o \quad (1)$$

Tabla 1
Programa de muestreo

Análisis	Frecuencia	Punto de toma de la muestra		
		Afluente	Tanque de Aeración	Efluente
DQO (mg/l)	diaria	X	X	
DBO (mg/l)	diaria	X	X	
SST,SSV (mg/l)	diaria	X	X	X
Consumo de Oxígeno (mg/l-d)	diaria		X	
pH	diaria	X	X	
Temperatura (C)	diaria		X	
Nitrógeno (mg/l)	diaria	X		X
Metales Pesados (ppm)	semanal		X	X

Tabla 2
Características del Agua Residual (Valores promedios)

DQO (mg/l)	DBO (mg/l)	N-amon(mg/l)	Nitra (mg/l)	pH	Temperatura (C)
476,33	291,56	21	20	7.29	31

balance se logra cuando la biomasa en el sistema sea igual a la biomasa que aparece en el mismo menos la biomasa que desaparece. obteniéndose la siguiente ecuación de una línea recta:

$$\frac{\Delta X/\Delta t}{X} = Y \frac{dS/dt}{X} - Kd \quad (2)$$

La intersección con el eje de las ordenadas permite calcular Kd y la pendiente el valor de Y.

Para determinar los coeficientes estequiométricos a y b, se usa la siguiente ecuación que corresponde a una línea recta:

$$R/X = a \frac{dS/dt}{X} + b \quad (3)$$

El intercepto con el eje de las ordenadas representa el coeficiente b y la pendiente el coeficiente a.

Resultados y Discusión.

Al agua residual doméstica utilizada en

dicha investigación no se le añadió ningún tipo de nutriente. Las características del agua residual en estudio se muestran en la Tabla 2.

El estudio estadístico llevado a cabo fue descriptivo mediante un análisis de pruebas de medias. En la Tabla 3 se pueden observar los resultados obtenidos de los análisis realizados, en la cual un valor promedio de la relación DQO/DBO₅ fue de 1,63, que según la literatura el valor puede variar desde 1,25-2,50, indicando ésto que el agua en estudio es susceptible de ser tratada biológicamente. El porcentaje de eficiencia promedio con respecto a la DQO fue de 74,50, 72,33, 74,58 y 74,64 para los reactores 1, 2, 3 y 4 respectivamente. Con respecto al porcentaje de eficiencia promedio en base a la DBO₅ fue de 80,67, 79,09, 81,00 y 81,64 para los reactores 1, 2,3 y 4 respectivamente. Se puede observar que el reactor 2 presentaba la menor eficiencia promedio con respecto a la DQO y a la DBO₅ y con un consumo de oxígeno disuelto menor que el resto de los reactores. En cuanto a los sólidos suspendidos volátiles (SSV), se observa en la Tabla 3, que el reactor 1 presenta una concen-

Tabla 3
Resultados del funcionamiento de la planta piloto de lodos activados

		REACTOR #1	REACTOR #2	REACTOR #3	REACTOR #4
DQO-afI mg/l	MAX	504,00	504,00	504,00	504,00
	MIN	403,00	403,00	403,00	403,00
	PROM	476,33	476,33	476,33	476,33
	DESV.STD	037,31	037,31	037,31	037,31
DBO-afI mg/l	MAX	300,00	300,00	300,00	300,00
	MIN	283,00	283,00	283,00	283,00
	PROM	291,56	291,56	291,56	291,56
	DESV.STD	006,36	006,36	006,36	006,36
DQO-efI mg/l	MAX	145,00	180,00	125,00	137,00
	MIN	105,00	119,00	107,00	110,00
	PROM	121,83	132,17	120,42	120,73
	DESV.STD	010,99	017,90	008,31	008,65
DBO-efI mg/l	MAX	62,00	80,00	73,00	83,00
	MIN	54,00	50,00	50,00	50,00
	PROM	56,42	59,75	55,75	53,91
	DESV.STD	04,46	10,86	06,61	10,04
DQO/DBO afI mg/l	MAX	1,74	1,74	1,74	1,74
	MIN	1,38	1,38	1,38	1,38
	PROM	1,63	1,63	1,63	1,63
	DESV.STD	0,12	0,12	0,12	0,12
DQO/DBO-efI mg/l	MAX	2,59	2,66	2,54	2,55
	MIN	1,79	1,67	1,58	1,65
	PROM	2,58	2,25	2,19	2,28
	DESV.STD	0,30	0,33	0,27	0,26
EF. REM DQO%	MAX	79,00	75,00	77,00	78,00
	MIN	69,00	64,00	71,00	68,00
	PROM	74,50	72,33	74,58	74,64
	DESV.STD	02,75	03,50	02,07	03,38

Tabla 3
(continuación)

		REACTOR #1	REACTOR #2	REACTOR #3	REACTOR #4
EF. REM DBO %	MAX	83,00	83,00	84,00	84,00
	MIN	79,00	72,00	79,00	72,00
	PROM	80,67	79,09	81,00	81,64
	DESV.STD	01,61	03,96	02,26	03,35
R1 / mg.d	MAX	386,74	449,28	414,72	437,76
	MIN	294,17	331,61	365,76	380,16
	PROM	390,72	328,25	391,20	404,64
	DESV.STD	047,40	042,66	017,51	021,69
SSV X mg/l	MAX	1900,00	2100,00	2500,00	2650,00
	MIN	0990,00	1100,00	1030,00	1490,00
	PROM	1448,33	1592,50	1670,00	2027,27
	DESV.STD	0346,93	0304,40	0440,95	0463,83
N-AMON afl mg/l	MAX	20,00	20,00	20,00	20,00
	MIN	21,00	21,00	21,00	21,00
	PROM	21,00	21,00	21,00	21,00
	DESV.STD	00,52	00,52	00,52	00,52
N-AMON efl mg/l	MAX	13,00	12,80	12,40	12,00
	MIN	10,50	11,00	10,90	11,70
	PROM	11,85	11,83	11,85	11,86
	DESV.STD	00,84	00,79	00,83	00,80
NITRA afl mg/l	MAX	21,00	21,00	21,00	21,00
	MIN	19,00	19,00	19,00	19,00
	PROM	20,00	20,00	20,00	20,00
	DESV.STD	00,63	00,63	00,63	00,63
NITRA efl mg/l	MAX	9,00	10,00	9,00	10,00
	MIN	8,00	7,00	8,00	7,60
	PROM	8,17	8,17	8,10	8,00
	DESV.STD	0,75	1,17	0,92	0,83
METAL	MAX	---	---	---	---
	MIN	---	---	---	---
	PROM	---	---	---	---
	DESV.STD	---	---	---	---

tración por debajo del valor reportado por la literatura el cual es de 1500-3000 mg/l. Con respecto a los valores del nitrógeno amoniacal y del nitrato se observa que los reactores tenían un comportamiento similar y cuyos valores oscilan dentro del intervalo reportado por la literatura [4] siendo éste de 20-50 mg/l y de 0-20 mg/l respectivamente. En cuanto a los metales pesados, los valores fueron tan pequeños que el espectrofotómetro no los detectó. Estas estuvieron por debajo de las concentraciones mínimas detectables siendo éstas de 5 ppm para el Cu, Cr y de 300 ppm para el Hg.

La tabla 4 presenta los valores promedios para las constantes cinéticas K , K_0 , K_s y de los coeficientes estequiométricos Y , K_d , a y b .

Del análisis efectuado en la Tabla 4 puede decirse que: - La velocidad máxima específica de utilización de sustrato K_0 fue de: 2,46 mg DQO/mg SSV.d ó 1,62 mg DBO₅ /mg SSV. Significa esto, que 1 mg de SSV remueve un máximo de 2,46 mg de sustrato por día, medido como DQO ó 1,62 mg de sustrato por día, medido como DBO₅. El valor en base a la DQO es ligeramente menor con respecto al valor reportado a escala de laboratorio [8] y con respecto a la literatura se encuentra en el límite inferior reportado [1,4,5,6]. Con respecto a la DBO₅ el valor es mayor con respecto al valor obtenido a escala de laboratorio [8] y a la literatura [1,4,5,6,7].

- La velocidad constante específica de utilización de sustrato K es de: 0,119 l/mg DQO.d ó 0,159 l/mg DBO₅ d. Significa esto que los microorganismos pueden consumir en un día 11,90 % de su peso como máximo expresado en DQO, ó el 15,90 % de su peso como máximo,

res con respecto a los valores obtenidos a escala de laboratorio [8] y de la literatura [1,3,4,5,6,7].

- La constante cinética de saturación K_s para DQO fue de 47,26 mg/l y de 22,23 mg/l para DBO₅. El valor determinado con respecto a la DQO es ligeramente menor con respecto al obtenido a escala de laboratorio [8] y oscila dentro del intervalo reportado por la literatura [1]; con respecto a la DBO₅ el valor es mayor con respecto al reportado a escala de laboratorio [8] y menor con la literatura [1,3,4,5,6,7].

- El coeficiente de producción de lodos Y fue de 0,181 para DQO y de 0,234 para DBO₅. Esto significa que el 18,10% del sustrato removido en un día como DQO se transforma en biomasa y el 23,40 % como DBO₅. Ambos valores son menores con respecto al valor determinado a escala de laboratorio [8] y de la literatura [1,3,4,5,6,7], pudiéndose deber a la variación del pH.

- El coeficiente de respiración endógena K_d , fue de 0,0575 d a partir de la DQO y de 0,014 d a partir de la DBO₅. Esto significa que el 5,75% de la biomasa, desaparece en el proceso de respiración endógena con respecto a la DQO y de 1,40 % con respecto a la DBO₅. El valor en base a la DQO es menor al reportado a escala de laboratorio [8] y dentro del intervalo reportado por la literatura [1]. Con respecto al valor de la DBO₅ este fue mucho menor al reportado a escala de laboratorio [8] y de la literatura [7].

- El coeficiente de utilización de Oxígeno para energía a (mgO₂ para energía /mg DQO removido) fue de 0,113 para DQO y 0,1550 para la DBO₅, significando esto que el 11,30 % o el 15,50 % del sustrato removido como DQO o DBO₅ es utilizado para producir energía. El

a la literatura [6]; en base a la DBO_5 el valor fue mayor que el reportado a escala de laboratorio [8].

- El coeficiente de utilización de Oxígeno para Respiración endógena b ($mg O_2$ respiración endógena/ $mg SSV$), fue de 0,025 d para DQO y 0,043 d para DBO_5 . Esto significa que se requiere 2,5 ó 4,30 mg de oxígeno por día, por mg de SSV presentes en el reactor para el proceso de respiración endógena. Con respecto a la DQO el valor es menor que el reportado a escala de laboratorio [8] y de la literatura [6]; en base a la DBO_5 valor mayor al reportado a escala de laboratorio [8].

Conclusiones.

1.- La eficiencia de remoción promedio con respecto a la DQO y la DBO_5 fueron del 74% y del 81% respectivamente.

2.- El valor promedio de la relación DQO/ DBO_5 fue de 1,63 valor comprendido en el intervalo de 1,25-2,50.

3.- La concentración de los Sólidos Suspendedos Volátiles, estuvo siempre sobre los 1000 mg/l, logrando un buen grado de remoción del sustrato.

4.- La velocidad máxima específica de remoción del sustrato K_0 , fue de 2,46 y de 1,62 l/d para la DQO y DBO_5 respectivamente.

5.- La velocidad específica de utilización de sustrato K , fue de $5,033 \times 10^{-3}$ l/mg.h con respecto a la DQO y de $6,61 \times 10^{-3}$ l/mg.h para la DBO_5 .

6.- La constante cinética de saturación K_s , fue 47,26 mg/l con respecto a la DQO y de 22,23 mg/l con respecto a la DBO_5 .

7.- El coeficiente de producción de lodos biológicos Y fue igual a 0,18 con respecto a la DQO, y de 0,23 con respecto a la DBO_5 .

8.- El coeficiente de respiración endógena K_d fue 0,064 l/d con respecto a la DQO, con respecto a la DBO_5 fue de 0,025 l/d.

coeficiente de utilización de oxígeno D, 11, con respecto a la DQO, y de a la DBO_5 .

coeficiente de utilización de oxígeno

SSV = Sólidos Suspendedos Volátiles. (mg/l)

Y = Coeficiente de producción de lodos biológicos.

b fue de 0,025 $mgO_2/mg SSV$ para DQO, el valor de la DBO_5 fue de 0,043 l/d.

11. - El valor promedio del nitrógeno amoniacal, indica que el agua se ha contaminado recientemente. Debido a las condiciones aeróbicas, el nitrógeno amoniacal es oxidado a nitrito y nitrato.

12. - En cuanto a los metales pesados analizados (Cu, Cr, Hg), se concluye que el agua en estudio posee trazas de los mismos, razón por la cual el espectrofotómetro no detectó valores significativos.

Nomenclatura.

Cr =	Cromo.
Cu =	Cobre.
DBO_5 =	Demanda Biológica de Oxígeno. (mg/l)
DQO =	Demanda Química de Oxígeno. (mg/l)
EF.REM =	Eficiencia de Remoción.
Hg =	Mercurio.
K =	Velocidad constante específica de utilización de sustrato. (l / mg.d)
K_d =	Coeficiente de respiración endógena. (d)
K_0 =	Velocidad máxima específica de utilización de sustrato. (l / d)
K_s =	Velocidad constante cinética de saturación. (mg /l)
N AMON =	Nitrógeno Amoniacal. (mg/l)
NITRA =	Nitrato.
R =	Velocidad de consumo de Oxígeno. (l/mg-d)
S=	Concentración de sustrato.
S_e =	Concentración del sustrato a la salida del tanque.
S_0 =	Concentración del sustrato a la entrada del tanque. (mg/l)

9.- El c a es igual a 0,16 en base

10.- El

a =	Coefficiente de utilización de Oxígeno para energía. (mg O ₂ / mgDQO-DBO)
afl =	Afluente.
b =	Coefficiente de utilización de Oxígeno para respiración endógena. (mgO ₂ /SSV)
efl =	Efluente.
t =	tiempo (d)
Δt =	cambio en el tiempo. (d)
ΔX =	Cambio en la concentración de la biomasa. (mg/l)

Agradecimiento.

Queremos expresar nuestro agradecimiento al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad del Zulia (CONDES), por la asistencia financiera de este trabajo de Investigación.

Referencias Bibliográficas.

- 1.- Benefield L., Randall - "Biological Process Design for Waste Water Treatment". Prentice Hall- U.S.A (1980), 230.
- 2.- Eckenfelder W., Ford P.- "Water Pollution Control Experimental. Procedure for Process Design". Pemberton Press. New York. (1970), 310-440.
- 3.- Gates W., Marla.-"Graphical Analysis of Batch Culture Data. Using The Monod Expressions". Journal Water Pollution. Control Federation. Research Supplement V2.R469. (1966), 64-72.
- 4.- Metcalf-Eddy.-"Tratamiento y Depuración de las Aguas Residuales". Editorial Labor,U.S.A.(1981), 300-428.
- 5.- Orozco Alvaro,Salazar.Alvaro.-"Tratamiento Biológico de las Aguas Residuales". Universidad de Antioquia. Centro de Servicios Técnicos de la Facultad de Ingeniería.Colombia, (1985), 132-214.
- 6.- Ramalho, R.- "Introduction to Waste Water Treatment". Academic Press, (1977), 564-600.
- 7.- Sundstrom-Keiz, Hebert.- "Waste Water Treatment". Prentice Hall N.J., (1979), 67-70.
- 8.- Torres-Trina.-Determinación experimental de las constantes cinéticas y coeficientes estequiométricos de interés en el tratamiento biológico de aguas residuales. Trabajo de Ascenso. Universidad del Zulia (1990), 5-68.

Recibido el 11 de Octubre de 1994

En forma revisada el 03 de Febrero de 1995