

Estimación cinética de los procesos biológico de lixiviados, a partir de un sistema experimental con humedales artificiales utilizando especies nativas

Estimate of kinetic processes in the system of biological leachate treatment, from the landfill through an experimental system constructed wetlands using native species

Alba Nely Arévalo Verjel, Jacipt Alexander Ramón, Jairo Lenin Ramón Valencia

Resumen

En este trabajo de investigación se realizó el estudio cinético de un sistema de tratamiento de lixiviados proveniente de la compactación de las basuras del relleno sanitario Guayabal (Cúcuta), por medio de humedales artificiales utilizando las especies vegetales *Crysopogon Zizanioides* y *Typha Latifolia* utilizando como base el modelo de la ecuación de Michaelis-Menten que explica la cinética de una reacción enzimática, aplicando la metodología del agua residual para la mezcla de lixiviado. Las ecuaciones del tratamiento biológico de las aguas residuales dependen de coeficientes cinéticos y estequiometricos. Estos coeficientes varían entre diversos tipos de agua residual, por lo que es necesario calcularlos mediante ensayos pilotos de laboratorio, que simulen el tratamiento del agua residual en estudio. Una vez se estabilizo el biofiltro después de la semana séptima de monitoreo se llevó a cabo el estudio cinético. Se tomaron cuatro muestras por cada uno de los tiempos de retención los cuales fueron 5,4,3,2,1 día.

Abstract

In this project the kinetic study of a leachate treatment system from compacting garbage landfill Guayabal (Cucuta) through artificial wetland plant species using *Crysopogon zizanioides* and *Typha latifolia* was performed using as the base model Michaelis- Menten kinetics explaining an enzymatic reaction, using the methodology of wastewater for mixing leachate. The equations of biological treatment of wastewater dependent kinetic and stoichiometric coefficients. These coefficients vary between different types of waste water, making it necessary to calculate by laboratory pilot tests that simulate wastewater treatment study. Once the biofilter stabilized after the seventh week of monitoring conducted the kinetic study four samples were taken for each of the retention times which were 5 to 1 day. The parameters analyzed were Chemical Oxygen Demand (COD) and volatile suspended solids (VSS) analyzed in the laboratories of the University Francisco de Paula Santander. With the data obtained from each retention

Recibido / Received: Abril 08 de 2015 Aprobado / Approved: Mayo 29 de 2015

Tipo de artículo / Type of paper: Investigación Científica y Tecnológica.

Afiliación Institucional de los autores / Institutional Affiliation of authors: Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Universidad de Pamplona. Programa de Bioingeniería, Facultad de Ingenierías, Universidad El Bosque

Autor para comunicaciones / Author communications: Alba Nely Arévalo Verjel, albaarevalovergel@hotmail.com

Los autores declaran que no tienen conflicto de interés.

Los parámetros que se analizaron fueron Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV) analizados en los laboratorios de la Universidad Francisco de Paula Santander. Con los datos obtenidos de cada tiempo de retención, se procedió a realizar el cálculo de los coeficientes cinéticos y estequiométricos para sustrato y biomasa, el tiempo de retención que presentó la mayor remoción de contaminantes y el mejor coeficiente de correlación R fue el de cinco días que se analizó para los diferentes autores: Orozco, Eckenfelder, McKinney dando mejores resultados para remoción de sustrato Eckenfelder y Orozco para producción de biomasa. Tras el periodo de monitoreo se determinó que la especie vegetal *Typha latifolia* alcanzó los valores máximos de remoción en la mayoría de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos evaluados; de manera semejante *Cryspogon Zizanioides* tuvo remociones con una diferencia mínima inferior.

Palabras clave: Biofiltro, cinética, lagunas artificiales, lixiviado, plantas.

time, we proceeded to perform the calculation of the kinetic coefficients and stoichiometric for substrate and biomass retention time that had the highest contaminant removal and the best correlation coefficient R was five days which we were analyzed for different authors: Orozco, Eckenfelder, McKinney giving better results for Eckenfelder substrate removal and Orozco for biomass production. After the monitoring period is determined that the plant species *Typha Latifolia* reached the maximum values of removal in most chemical and microbiological parameters evaluated; similarly *Cryspogon Zizanioides* removals had a lower minimum difference.

Keywords: Biofilter, kinetic, leachate, plant, wetlands.

Introducción

En la actualidad se han incrementado de manera proporcional, el tamaño de los asentamientos, lo cual ha conllevado a la humanidad a buscar diversos métodos para la solución o mitigar diversos impactos que producen en el tratamiento de aguas residuales [1].

Los diversos métodos de tratamiento de las aguas residuales de tipo doméstico, industrial y comercial han sido desarrollados para la reducción o eliminar los contaminantes de estas aguas, no obstante, estas sustancias son tratadas con tratamientos primarios, secundarios y terciarios, encaminados a la reducción de la materia orgánica, metales pesados, sustancias tóxicas y microorganismos patógenos vertidos. En el tratamiento primario se utiliza operaciones físicas, como el desbaste y la sedimentación, para eliminar los sólidos sedimentables y partículas flotantes que se encuentran en las aguas residuales. En los tratamientos secundarios, son los procesos biológicos y químicos, los que se encargan de eliminar la mayoría de

la materia orgánica. En el tratamiento terciario se utiliza combinaciones adicionales de los procesos y operaciones unitarias, para eliminar otros componentes, tales como, el nitrógeno y fósforo, que no son eliminados por el tratamiento terciario [2].

Los rellenos sanitarios, son sitios destinados a la disposición final de residuos sólidos. Su tratamiento se basa en la compactación y entierro de las basuras. Como resultado de este método se generan los lixiviados, que se caracterizan por su alto grado de contaminación al ser contenedores de diversos compuestos químicos como los orgánicos, inorgánicos, naturales y xenobioticos.

Debido a esto, la problemática surge la necesidad de plantear una alternativa en el tratamiento de lixiviados, con el fin de disminuir el impacto ambiental a bajos costos operativos en el tratamiento y a su vez, buscar la posibilidad de reutilizar el agua para consumo u otros usos.

El Tratamiento Biológico de las Aguas Residuales, se desarrolló de forma empírica al principio. De hecho su base operativa se conocía de manera muy rudimentaria y sólo hasta el año 1950 se obtuvo una representación matemática de su comportamiento, el objetivo es estabilizar la materia orgánica, para determinar las constantes cinéticas y estequiométricas del agua a tratar (agua-lixiviado) utilizando ecuaciones que se vienen empleando para desarrollar los modelos matemáticos de los procesos, mediante el cual, se puede diseñar los sistemas de tratamiento y sentar las bases para su operación [1]. Según lo anterior, no se encontró información de cinética y modelamiento para lixiviados, por lo tanto, nos basamos en la información existente sobre aguas residuales.

Revisando las investigaciones en el tema, se encontraron de los autores como Orozco, Eckenfelder, McKinney, han realizado estudios en diferentes tipos de aguas residuales con el fin de determinar las constantes cinéticas y estequiométricas, para esta investigación se aplicaron las ecuaciones de Orozco y Eckenfelder, porque son las que mejor explicaron este tipo de tratamiento. [4].

El sistema construido, fue un humedal artificial utilizando especies vegetales *Crypsogon Zizanioides* y *Typha Lati-folia*, que operan en condiciones continuas utilizando canecas plásticas y un tanque alimentador que contenía un 15% de lixiviado y 85% de agua, inicialmente se realizó una prueba piloto, donde se encontró que las concentraciones de las plantas presentaron una capacidad de supervivencia y adaptación al medio contaminado, el lixiviado en estudio fue suministrado por el relleno sanitario el Guayabal de la empresa Aseo Urbano S.A. E.P.S.

Marco teórico

Relleno sanitario

Un relleno sanitario es un lugar técnicamente diseñado para la disposición final controlada de los residuos sólidos, sin causar peligro, daño o riesgo a la salud pública, minimizando los impactos ambientales y utilizando principios de ingeniería. Confinación y aislamiento de los residuos sólidos en un área mínima, con compactación de residuos, cobertura diaria de los mismos, control de gases, lixiviados y cobertura final. [3].

En el Relleno Sanitario “Guayabal” se tratan los residuos procedentes de la ciudad de San José de Cúcuta y los municipios Los Patios, Arboledas, Bucarasica, Bochalema, Herrán, Lourdes, Villa Caro, El Zulia, Villa del Rosario, Durania, Puerto Santander, Chinacota, Sardinata, Santiago, Ragonvalia y el corregimiento de Aguacalara.

Lixiviado

Se entiende como lixiviados “todos aquellos líquidos que han entrado en contacto con los desechos de rellenos sanitarios, y se producen por la disolución de uno o más compuestos de los residuos sólidos urbanos en contacto con el agua, o por la propia dinámica de descomposición de los residuos.” [7].

Según Giraldo Eugenio, el lixiviado generado en un relleno sanitario es producto de múltiples factores, tales como: composición de la basura, edad del relleno, balance de agua, diseño y operación del relleno sanitario, solubilidad de los desechos, procesos de conversión microbiológica, química y la interacción del lixiviado con el medio ambiente. El caudal generado varía de acuerdo con el estado de avance y el tipo de operación del relleno, y la composición también varía en el tiempo.

Humedales artificiales

Los humedales artificiales son sistemas de tratamiento de tipo natural, que, a partir de la emulación de procesos físicos, químicos y biológicos, mejoran la calidad del agua residual que fluye a través de estos (Wittgreen y Maehlum, 1997; Aluko y Sridhar, 2005). Aunque la construcción de los humedales artificiales puede tener costos de construcción similares a los de las tecnologías de tratamiento convencionales, los costos asociados tanto a operación como a mantenimiento son menores (Vymazal 1995) por ello los humedales artificiales ofrecen la alternativa con mayor rentabilidad y ecológicamente racional en el tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios [6].

Cinética

El tratamiento biológico de las aguas residuales muestra cuales son las acciones metabólicas y con qué mecanismos operan las bacterias cuando son utilizados por el hombre con el fin de reducir la contaminación de las

aguas. Sin embargo, todo el conocimiento de la maquinaria bioquímica de los microorganismos sería inútil para el ingeniero de aguas, si no fuera posible encontrar algoritmos y fórmulas que definan, al menos a nivel macro, cuál es el comportamiento del sistema en términos cuantificables y mesurables. Es este el verdadero método de aplicar la tecnología al conocimiento científico.

Es así como se han tomado como base fundamental explicativa de todo el proceso, los fenómenos cinéticos y estequiométricos de la remoción de sustrato, el crecimiento de biomasa y el consumo de oxígeno que ocurren por causa del tratamiento. Las relaciones cinéticas tratan de encontrar los parámetros que gobiernan o definen las tasas de cambio de los parámetros que importan en el tratamiento. Específicamente, son de interés la velocidad de remoción de sustrato y la tasa de aumento de biomasa. Matemáticamente, los parámetros que intervienen en estos fenómenos se expresan como sigue [1]:

S = Sustrato orgánico (mg DQO o DBO/L)

X = Biomasa, (generalmente como mg SSVLM/L)

dS/dt = Tasa de remoción de sustrato (mg DQO/L. día)

dX/dt = Tasa de aumento de biomasa (mg SSVLM/L. día)

Es el caso que si encontramos las leyes que rigen dS/dt y dX/dt tendremos importantes herramientas para diseñar métodos de control de los microorganismos. También son de utilidad todas las otras tasas de reacción que podamos describir adecuadamente con lenguaje de ingeniería [1].

Remoción de sustrato

La cinética de Michaelis-Menten describe la velocidad de reacción de muchas reacciones enzimáticas. Este modelo sólo es válido cuando la concentración del sustrato es mayor que la concentración de la enzima, y para condiciones de estado estacionario, es decir, cuando la concentración del complejo enzima-sustrato es constante (Catalysis chapter from the Biochemistry textbook release under the GFDL recuperado el 26 Junio 2015 a las 10:01).



[E] Concentración enzimática en mol/L.

[S] Sustrato en mol/L.

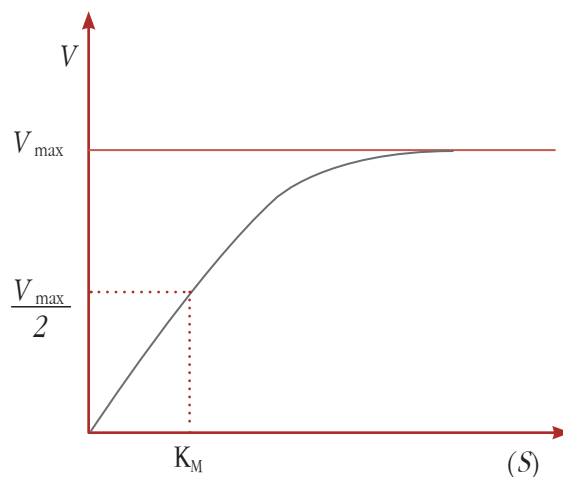
[ES] Complejo enzimático

[P] Producto

La velocidad remoción de sustrato $d[S]/dt$ indica el número de moléculas del sustrato que se convierten en producto por segundo. Con concentraciones crecientes de sustrato [S], la enzima va acercándose asintóticamente a su velocidad máxima V_{max} , pero nunca la alcanza. Por esta razón, no hay un valor de [S] determinado para la V_{max} . De todas formas, se puede definir un parámetro característico de la enzima empleando la concentración de sustrato a la cual se alcanza la mitad de la velocidad máxima ($V_{max}/2$), donde su respectivo valor en [S] sería K_m (Catalysis chapter from the Biochemistry textbook release under the GFDL. Recuperado el 26 Junio 2015 a las 10:01).

$$v = \frac{K_{Max}(s)}{K_M + (s)}$$

Figura 1. Forma general de la ecuación de Michaelis-Menten, [1].



La remoción de sustrato soluble, viene gobernada por la ecuación 1:

$$\frac{ds}{Xdt} = \frac{K_o s}{K_m + s} \quad (1)$$

X = Biomasa en el reactor (mg SSV/L)

S = Sustrato en el reactor (mg DQO/L)

Ko = Constante cinética, máxima tasa de remoción unitaria (dia-1)

Km = Constante cinética de saturación de Monod (mg DQO/L)

En la ecuación (1) es la conocida como de Lawrence y McCarty. Esta ecuación tiene la misma forma de la ecuación de Monod, y cumple para condiciones de abundancia, CA, y condiciones de inanición, CI, estas últimas las que se desarrollan en la mayoría de los tratamientos.

En CI, entonces $K_m \gg S$, y la ecuación (1) se convierte en la ecuación de Eckenfelder:

$$\frac{ds}{Xdt} K_s \quad (2)$$

Dónde:

Ko = Constante cinética, máxima tasa de remoción unitaria (dia-1)

Km = Constante cinética de saturación de Contois (mg DQO/mg SSV)

Esta ecuación ha sido propuesta por Orozco y sirve para CA y CI. Cuando se quiere trabajar sólo con las CI, entonces $K_c \gg S/X$, y la ecuación (2) se convierte en:

$$\frac{ds}{Xdt} K_L s \quad (3)$$

Dónde:

KL = Factor de síntesis (dia-1)

Conocida como la ecuación de McKinney

Las Ecuaciones pueden ser usadas indistintamente, Aunque la interpretación del fenómeno de remoción de sustratos se plantea de modo diferente en ambos casos, la aplicación práctica produce resultados similares con cualquiera de las anteriores ecuaciones. Estas ecuaciones se aplican también para interpretar la remoción del sustrato orgánico total, soluble e insoluble.

La relación dS/Xdt , se conoce como la tasa neta de remoción de sustrato y a menudo se le reconoce como U.

Las cuatro ecuaciones se pueden entonces resumir en la ecuación 4 de la siguiente forma:

$$U = \frac{K_o S'}{K_s + s'} \quad (4)$$

Dónde:

S' = Parámetro que define la remoción de sustrato, S o S/X.

Ko y Ks = Constantes cinéticas.

Estas mismas ecuaciones pueden ser aplicadas al tratamiento anaerobio, pero con coeficientes cinéticos diferentes (Orozco/2005).

Producción de biomasa

La producción de biomasa o crecimiento bacteriano se ha interpretado universalmente de la ecuación 5.

$$\frac{dx}{Xdt} = Y \frac{ds}{Xdt} - K_e \quad (5)$$

Dónde:

dX/Xdt = Tasa decrecimiento de biomasa (dia⁻¹)

Y = Coeficiente estequiométrico de producción (mg SSV/mg DQO)

Km = Coeficiente endógeno

Para tratamiento anaerobio aplica la misma ecuación, pero Y se reemplaza por el coeficiente de producción anaerobio Yan.

El tiempo de detención celular de las bacterias en el reactor, o edad de lodos, θ_c se define como se muestra en la ecuación 6:

$$\theta_c = \frac{x}{dx/dt} \quad (6)$$

Quedando la ecuación (6.) convertida en,

$$\frac{1}{\theta_c} = Y \frac{dS}{Xdt} - K_e \quad (7)$$

La edad de lodos define el tiempo que, en promedio, las bacterias permanecen en el reactor antes de ser arrojadas. A menudo, es deseable una relación directa entre $1/\theta_c$ y U , del modo siguiente (ecuación 8.):

$$\frac{1}{\theta_c} = Y_{obs} U \quad (8)$$

Las ecuaciones anteriores, describen con buen grado de aproximación el crecimiento de la masa celular causado por la remoción de sustrato soluble, el cual es usado por los microorganismos para su reproducción, crecimiento y necesidades metabólicas.

El crecimiento neto de biomasa, dX/Xdt , se conoce a menudo como G y su relación con U es a través de los coeficientes estequiométricos, Y y Y_{obs} . Estos coeficientes de producción relacionan los SSV de biomasa producidos con la remoción de una cantidad dada de sustrato soluble, ΔDQO . Sin embargo, a menudo Y y Y_{obs} , incluyen los SSV producidos por la remoción de sustrato total, soluble e insoluble (compuesto de SSV biodegradable). Los SSV influentes se convierten en biomasa (SSV biológicos) a través de los procesos de descomposición, hidrólisis y acidificación (fermentación) de las partículas coloidales y en suspensión que ocurre en el tratamiento, en el cual éstas se incorporan dentro del protoplasma celular [1].

Materiales y métodos

Descripción del sistema

Procedimiento:

- Corte y Limpieza de las canecas.
- Instalación de tubería y llaves.
- Formación del biofiltro y siembra de las plantas.
- Preparación de Agua-Barro como sustrato inicial en la adaptación.
- Preparación de solución de lixiviado al 15%.
- Adición de las alícuotas de la solución de lixiviado al 15%.
- Medición del volumen de agua a emplear en la adaptación.

Para lograr que las plantas se adaptaran, inicialmente el sustrato adicionado fue una solución de agua-barro, que se mantuvo durante una semana. Al inicio de la segunda semana se estableció a la salida un goteo para mantener un nivel mínimo y se inició con la adición de alícuotas de 3 litros de solución de lixiviado, de modo de que en un transcurso de 10 semanas las plantas se encontraban completamente en solución de lixiviado.

Figura 2. Adaptación de la especie *Typha Latifolia*.



Construcción del Sistema

Tras finalizar la adaptación de las plantas, se procedió con la construcción final del montaje, los materiales empleados fueron:

- Armazón metálica
- Canecas plásticas
- Tanque alimentador
- Tubería de 1" Y ½"
- Llaves de 1" Y ½"
- Grava y arena
- Icopor (para la construcción de barreras). [5].
- Polisombra
- Agua-lixiviado.

Para iniciar con la puesta en marcha del sistema, se requirió el acondicionamiento de varios factores. Cada tratamiento constaba de tres repeticiones con dos etapas, la primera etapa sobre el armazón metálico y la segunda en suelo, de modo que se pueda garantizar el flujo continuo del sustrato, como se observa en la figura 3.

Figura 3. Sistema completo con poli sombra.



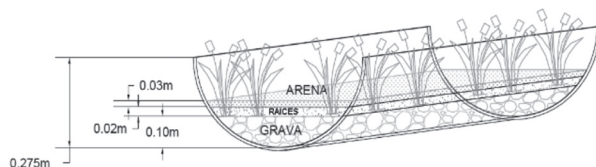
Tras las 10 semanas de monitoreo y una vez se estabilizado el biofiltro para un tiempo de retención de cinco días, se procedió a realizar la cinética de los sistemas de las dos especies vegetales.

Se aplicaron varios tiempos de retención, lo cuales fueron 5, 4, 3, 2 y 1 día, calculando para cada uno de ellos los diferentes caudales.

Determinación del Volumen del sistema

Para determinar el volumen del sistema, es necesario determinar que volumen de mezcla de lixiviado desplaza cada uno de los componentes del biofiltro. Para esto se halló el volumen de agua que era desplazado por la grava, arena y raíces, se tomaron las medidas correspondientes a altura de cada uno de ellos y se emplearon los cálculos de área del segmento circular para determinar el volumen que ocupaban debido a que el recipiente donde se lleva a cabo el proceso es medio cilindro.

Figura 4. Medidas q se tiene en cuenta para el cálculo del volumen.



Calculo del Caudal

Con el cálculo del volumen que ocupa la mezcla de lixiviado en cada sistema, se procede a la determinación de los caudales, aplicando la fórmula 1 (ver tabla 1 y 2), Con el dato de caudal para cada tiempo de retención en cada sistema, se procedió a dar inicio del análisis de cinética:

Tabla 1. Cálculo de caudales para los 5 tiempos de retención con la especie *Typha Latifolia*.

T. Retención (Días)	Q (L/días)	Q(ml/min)
5	4,69	3,258
4	5,86	4,072
3	7,82	5,429
2	11,73	8,144
1	23,46	16,288

Tabla 2. Cálculo de caudales para los 5 tiempos de retención con la especie *Crypsopogon zizanioides*.

T. Retención (Días)	Q (L/días)	Q(ml/min)
5	5,11	3,548
4	6,39	4,436
3	8,52	5,914
2	12,77	8,871
1	25,55	17,742

Resultados y discusión

Se tomaron cuatro muestras por cada uno de los tiempos de retención. Los parámetros que se analizaron fueron: Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV) analizados en los laboratorios de la Universidad Francisco de Paula Santander. Los datos obtenidos de cada tiempo de retención, se procedió a realizar el cálculo de los coeficientes cinéticos y estequiométricos para sustrato y biomasa, en el tiempo de retención se presentó la mayor remoción de contaminantes y el mejor coeficiente de correlación R.

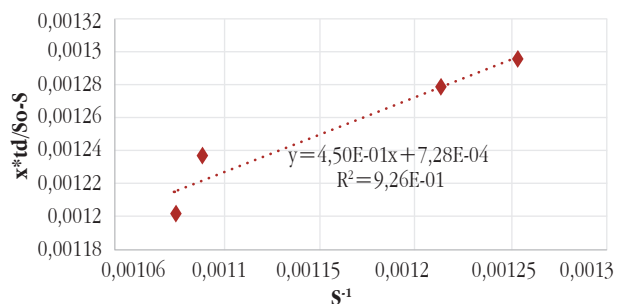
Remoción de sustrato

Tabla 3. Datos Generales de Cinética para la especie *Typha Latifolia*.

Parámetro	Símbolo	Unidades	Afluente sin tratar	Muestras			
				1	2	3	4
Caudal	Q	ml/min		3,257	3,257	3,257	3,257
tiempo de retención	θ	Día		1,25	2,50	3,75	5,00
Sustrato	S	mg/L DQO	1293,52	923,52	911,73	818,83	792,63
Biomasa	X	mg/L SSVLM	0,0295	0,094	0,092	0,092	0,092

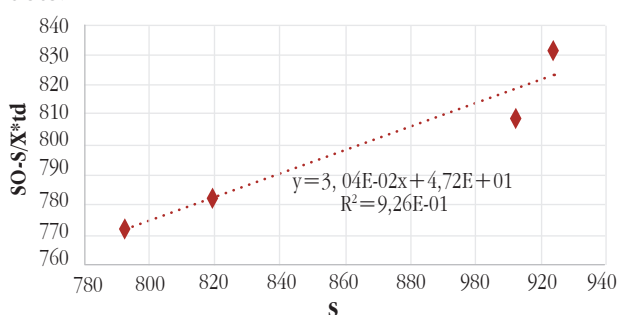
Se determinaron las constantes k_0 y k_s de remoción de sustrato por medio de la ecuación de Lineweaver – Burk para Orozco, ver grafica 1.

Gráfica 1. Gráfico de Lineweaver-Burk para la ecuación de Orozco de remoción de sustrato.



Se determinó la constante K de remoción de sustrato para Eckenfelder, ver gráfica 2.

Gráfica 2. Gráfico de Eckenfelder para remoción de sustrato.



Se determinó la constante k_l de remoción de sustrato para McKinney, ver gráfica 3.

Gráfica 3. Gráfico de McKinney para remoción de sustrato.

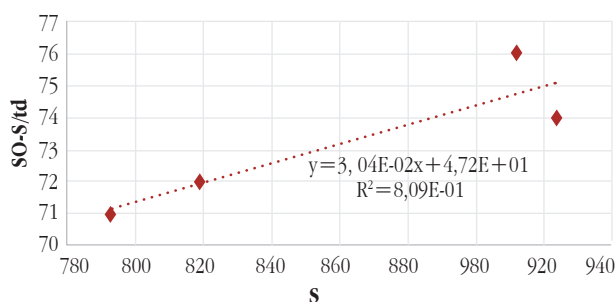


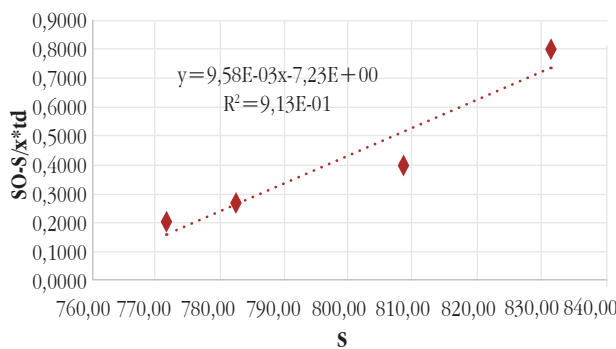
Tabla 4. Constantes cinéticas de sustrato para *Typha Latifolia*.

Autores	Ecuación	R	Constantes	
Orozco	$y = 4,50E-01x + 7,28E-04$	0,926	Ko	1373.626
			Ks	618.132
Eckenfelder	$y = 3,92E-01x + 4,61E+02$	0,921	K	0,392
McKinney	$y = 3,04E-02x + 4,71E+01$	0,809	kl	0,0304

Constantes cinéticas de Biomasa

Se determinaron las constantes k_e y Y de producción de biomasa por medio de la ecuación general de biomasa, ver gráfica 4.

Gráfica 4. Gráfico de la ecuación general de Producción de Biomasa.



Donde se obtuvieron las constantes:

$$K_e = 7.234$$

$$Y = 0.00958$$

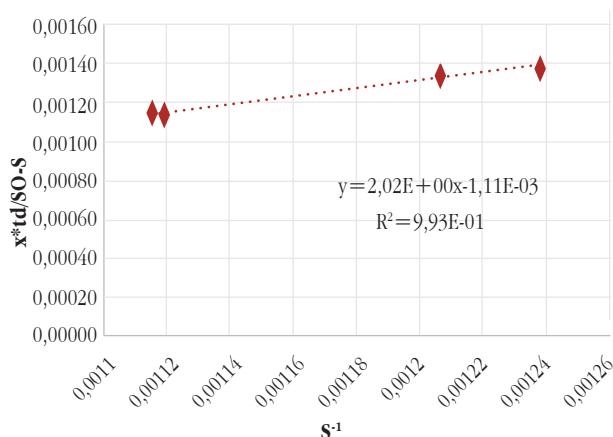
Con un coeficiente de correlación de 0.913.

Cinética para Sistema de tratamiento con *Crypsogon zizanioides*

Tabla 5. Datos Generales de Cinética para la especie *Crypsogon zizanioides*

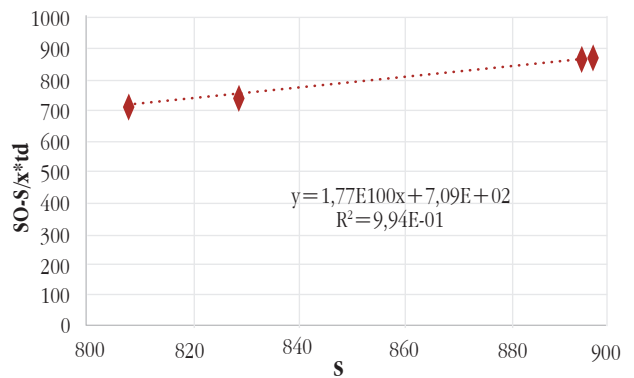
Parámetro	Símbolo	Unidades	Afluente sin tratar	Muestras			
				1	2	3	4
Caudal	Q	ml/min		3,548	3,548	3,548	3,548
tiempo de retención	θ	Día		1,25	2,50	3,75	5,00
Sustrato	S	mg/L DQO	1293,52	893,516	895,129	828,82	807,631
Biomasa	X	mg/L SSVLM	0,0295	0,092	0,091	0,094	0,094

Se determinaron las constantes k_0 y k_s de remoción de sustrato por medio de la ecuación de Lineweaver – Burk para Orozco, ver grafica 5.



Se determinó la constante K de remoción de sustrato para Eckenfelder, ver grafica 6.

Grafica 6. Gráfico de Eckenfelder para remoción de sustrato.



Se determinó la constante k_l de remoción de sustrato para McKinney, ver grafica 7.

Grafica 7. Grafico de Mckinney para remoción de sustrato.

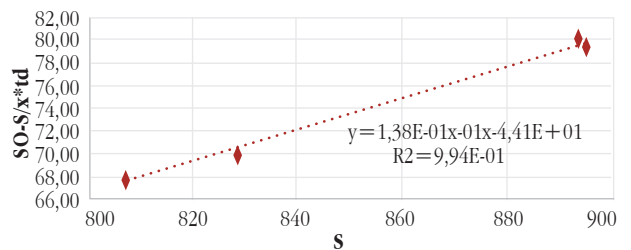


Tabla 6. Constantes cinéticas de remoción de sustrato para *Crypsogon zizanioides*.

Planta	Autores	Ecuación	R	Constantes
Orozco		$y = 4,50E-01x + 7,28E-04$	0,926	K_0 1373.626
				K_s 618.132
Eckenfelder		$y = 3,92E-01x + 4,61E+02$	0,921	K 0,392
McKinney		$y = 3,04E-02x + 4,71E+01$	0,809	k_l 0,0304

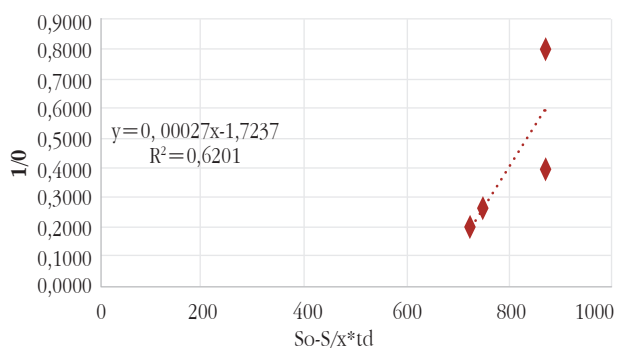
Constantes cinéticas de Biomasa

Se determinaron las constantes k_e y Y de producción de Biomasa por medio de la ecuación general de Biomasa,

Tabla 7. Coeficiente cinético y estequiométrico para sistemas de tratamiento de aguas residuales Urbanas, Orozco 2005. [1].

Coheficiente cinético y estequiometrico de aguas residuales										
Agua residual	Ecuación	Base	KL	K	K	KM	K	KC	Y	KE
			Día 1	mgSSV/i-día	día-1	mg/L	Día		mgSSV/mg	Día
Domestica	Lawrence McCarty	DQO			5,6	22			0,67	0,07
Leche descre- mada	Lawrence McCarty	DBOS			5,1	100			0,48	0,015
Domestica	Lawrence McCarty	DBOS							0,6	0,055
Curtiembres	Orozco	DBOS					0,763	0,17	1,19	0,08
Textiles	Orozco	DBOS					0,033	0,017	0,38	0,084
Textiles	Laguna	DBOS	2,5							
Pulpa y papel	Laguna	DBOS	0,26							
Efluente plantas	Laguna	DBOS	0,37							
Domestica	Eckenfelder	DBOS		0,01-0,03					0,73	0,075
Refineria	Eckenfelder	DBOS							0,49-0,62	0,015
Cerveceria	Eckenfelder	DBOS							0,56	0,015
Pulpa kraft	Eckenfelder	DBOS							0,5	0,06
Quimica y petroquimica	Eckenfelder	DBOS							0,31-0,72	0,12

Grafica 8. Grafico de la ecuación general de Producción de Biomasa



Donde se obtuvieron las constantes $K_e = 1.723$ y $Y = 0.00267$ con un coeficiente de correlación de 0.62.

La tabla 7. Permite observar las constantes cinéticas de diferentes sustratos, sin embargo cabe destacar que

ninguna de ellas se asemeja a las constantes obtenidas con la mezcla de lixiviado pues este contiene una gran diversidad de sustancias orgánicas e inorgánicas.

Conclusiones

A la vista de los resultados obtenidos de la cinética en el sistema de tratamiento biológico de lixiviados procedentes del relleno sanitario el Guayabal se pueden destacar las siguientes conclusiones:

Al comparar los resultados de las constantes para la mezcla agua-lixiviado con las constantes de aguas residuales urbanas de Orozco 2005 se observa que no hay similitud entre ellas esto es lógico ya que el lixiviado tiene un comportamiento diferente frente a la cinética, estequiometría y al tratamiento que se esté desarrollando.

El método para calcular las constantes fue apropiado, ya que se tuvieron en cuenta todos los parámetros que intervienen en la operación y control del biorreactor.

Las especies vegetales presentaron comportamientos diferentes en la adaptación a la mezcla de lixiviado; *Typha Latifolia* presenta muerte de todo el material vegetal para renacer con brotes adaptados al medio en el que se encuentra y *Crypogon Zizanioides* se adapta inmediatamente a la mezcla de lixiviado, sin presentar muerte vegetal lo que demuestra que referente a la adaptación es la especie más indicada para llevar el proceso de biorremediación.

Para el sistema de tratamiento con *Typha Latifolia* y *Crypogon Zizanioides* el autor que más se asemeja al comportamiento real del sistema es Eckenfelder para remoción de sustrato y Orozco para producción de Biomasa.

La especie vegetal *Typha Latifolia* alcanzo los valores máximos de remoción en la mayoría de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos evaluados; de manera semejante *Crypogon Zizanioides* tuvo remociones con una diferencia mínima inferior.

Referencias

- [1] A. Orozco, "Bioingeniería de aguas residuales. Teoría y Diseño", ISBN: 978958965482, Editorial: Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Acodal, Edición segunda, 2014, 566 págs.
- [2] Ramón, A. J., Gualdron, L., & MALDONADO, J. Determinación de los coeficientes cinéticos y estequiométricos del proceso de degradación aerobia en el tratamiento biológico del agua residual en reactores discontinuos. REVISTA AMBIENTAL AGUA, AIRE Y SUELO, 2(2), 2013.
- [3] CORENA LUNA, M. J. Sistemas de Tratamientos para Lixiviados generados en Rellenos Sanitarios, Universidad de Sucre.
- [4] Chaparro, T. R., Navarrete, E. A. P., & Mora, E. V. (2003). Determinación de las constantes cinéticas y estequiométricas en un biorreactor de lodos activados convencional a escala. (Laboratorio de aguas residuales de un frigorífico). Ciencia e Ingeniería Neogranadina, (13), 9-16.
- [5] L. Xuerui, L Chongyu, S. Wensheng, "Treatment of landfill leachate by subsurface-flow constructed wetland: a microcosm test. In Tercera conferencia internacional y exhibición. Vetiver y agua". Guangzhou, República Popular. China (pp. 222-230). 2003.
- [6] Mosquera-Beltrán, Y., & Lara-Borrero, J. (2012). Tratamiento de lixiviados mediante humedales artificiales: revisión del estado del arte. 7, 73-99.
- [7] Contreras, A. Á., & Gelvez, J. H. S. (2006). Tratamiento biológico del lixiviado generado en el relleno sanitario "El guayabal" de la ciudad San José de Cúcuta. Ingeniería y desarrollo: revista de la División de Ingeniería de la Universidad del Norte, (20), 95-105.

Los Autores



Alba Nely Arévalo Verjel

Ingeniero Civil, Universidad Francisco de Paula Santander. Cúcuta, Colombia, 2008.
Magister en ingeniería Ambiental Universidad de Pamplona, 2015.



Jacipt Alexander Ramón Valencia

Ingeniero Químico por la Universidad Industrial de Santander UIS en 1999, magister en gestión y tratamiento del agua y Gestión Integrada Riesgos Calidad y Medio Ambiente Universidad de Alicante (España) 2003, Doctor en Ing. química por la Universidad de Murcia (España) 2004.

Docente-investigador de tiempo completo, adscrito al Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la Facultad de Ingenierías y Arquitectura: director del programa de ingeniería ambiental, Director del Grupo de Investigaciones Ambientales Agua, Aire y Suelo GIAAS, director de la maestría en Ingeniería Ambiental, director del Doctorado en Educación y Cultura Ambiental.



Jairo Lenín Ramón Valencia

Docente Asociado del programa de Bioingeniería, Universidad El Bosque, trabajo como investigador en el grupo de investigación OSIRIS, Editor de Revista de Tecnología, Facultad de Ingeniería, Doctor en Ingenierías Tecnológicas Industriales- Universidad Politécnica de Cartagena, España, 2012. Ingeniero Técnico Industrial, Especialidad en Electrónica Industrial- Universidad Politécnica de Cartagena, UPCT. Cartagena, España 2011. Ingeniero Biomédico- Universidad Manuel Beltrán, Bucaramanga, Colombia, 2003.