



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
UNIDAD ZACATENCO**



SECCION DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL**

**“Ruta de asimilación del carbono en un reactor en
lote”**

PRESENTA:

INGENIERO AMBIENTAL

BRENDA ARELI HERNÁNDEZ MEZA

DIRECTOR: DR. JORGE MELÉNDEZ ESTRADA

JULIO, 2011.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de México D. F., siendo las 14:00 horas del día 22 del mes de junio del 2011 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de E.S.I.A. – U. Z. para examinar la tesis titulada:

“Ruta de asimilación de carbono en un reactor en lote”.

Presentada por el alumno:

Hernández

Apellido paterno

Meza

Apellido materno

Brenda Areli

Nombre(s)

Con registro:

A	0	9	0	6	9	1
---	---	---	---	---	---	---

aspirante de:

MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL

Después de intercambiar opiniones, los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

Director(a) de tesis

Dr. Jorge Meléndez Estrada

Dr. Víctor Manuel López López

M. en C. Ricardo Contreras Contreras

M. en C. Javier Avila Moreno

M. en C. Norma Josefina Ruiz Castillejos

~~PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES~~

~~SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN~~

~~M. en C. Pino Durán Escamilla~~



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESION DE DERECHOS

En la Ciudad de México el día 23 del mes Junio del año 2011, el (la) que suscribe Brenda Areli Hernández Meza alumno (a) del Programa de Maestría en Ingeniería Civil con número de registro A090691, adscrito a la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura Unidad Zacatenco, manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de Dr . Jorge Meléndez Estrada y cede los derechos del trabajo intitulado **“Ruta de Asimilación de Carbono en un reactor en lote”**, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección bahm_23@hotmail.com Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Brenda Areli Hernández Meza

CONTENIDO

I. RESUMEN	4
ABSTRACT	5
II. ANTECEDENTES	6
III. INTRODUCCION	10
IV. MARCO TEÓRICO	11
V. JUSTIFICACIÓN	15
VI. HIPÓTESIS	16
VII. OBJETIVO ESPECIFICO	16
OBJETIVOS PARTICULARES	16
VIII. METODOLOGÍA	17
• CARACATERIZACION DE AGUA	18
• ARMADO DEL REACTOR	22
• OPERACIÓN DEL REACTOR	24
IX. RESULTADOS	25
RESULTADOS A LA ENTRADA DEL PROCESO	25
MONITOREO DEL REACTOR	27
RESULTADOS A LA SALIDA	31
MEMORIA DE CÁLCULO DE LOS PARAMETROS BIOCINETICOS	34
X. ANALISIS DE RESULTADOS	45
XI. CONCLUSIONES	48
XII. BIBLIOGRAFIA	49
XIII. ANEXOS	51

I.RESUMEN

El presente trabajo contempla el comportamiento de los microorganismos con respecto al consumo de sustrato y la ruta de asimilación de carbono de un reactor en lote, por lo que se monitorearon los parámetros de campo y de diseño, como pH, temperatura, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, DBO, DQO y SST, todo esto con el fin de obtener datos necesarios para cuantificar algunos datos biocinéticos que nos permitan conocer la bioenergética del reactor. Al obtener los datos y realizar cálculos biocinéticos, que determinan el consumo de biomasa, consumo de sustrato, relación alimento microorganismos (A/M), rendimiento y la eficiencia del reactor, se observó el comportamiento de los microorganismos al consumir el sustrato y la generación de biomasa, así como el consumo de carbono-oxígeno dentro del reactor, para dar origen a otra fuente de energía permitiendo así la respiración endógena. Al realizar la comparación de la eficiencia global del equipo con respecto a la DBO, DQO y SST, esta resultó ser muy baja denotando los parámetros biocinéticos y haciéndolos mas importantes. Esta comparación demostró una equivalencia en el tiempo de residencia celular con la observada con procesos aerobios de tipo zanjonés de oxidación y aireación extendida que se caracterizan por ser procesos de limitadas eficiencias de remoción de materia orgánica y elevados tiempos de retención para la síntesis de la materia orgánica.

I. ABSTRACT

This work includes the behavior of microorganisms with respect to substrate consumption and carbon assimilation pathway of a batch reactor, so the parameters were monitored and design field, such as pH, temperature, electrical conductivity, oxygen dissolved BOD, COD and TSS, all this in order to obtain data needed to quantify some biocinetic data that allow us to know the bioenergetics of reactor. In obtaining the data and biocinetic calculations that determine the consumption of biomass, substrate consumption, food related microorganisms (A / M), performance and efficiency of the reactor, we observed the behavior of microorganisms to consume the substrate and the generation biomass and the carbon-oxygen consumption within the reactor, to give rise to another power source allowing endogenous respiration. When comparing the overall efficiency of the team with regard to BOD, COD and TSS, this proved to be very low denoting the biokinetic parameters and making them more important. This comparison showed an equivalent residence time in the cellular processes seen with aerobic type of oxidation ditches and aeration extended to processes characterized by limited removal efficiencies of organic matter and high retention times for the synthesis of matter organic.

II. ANTECEDENTES

El problema de las aguas negras fue imponiéndose debido al uso del agua para recoger y arrastrar los productos de desecho de la vida humana. Antes de esto los volúmenes de desecho, sin que el agua sirva de vehículo, eran muy pequeños y su eliminación se limitaba a los excrementos familiares o individuales. El primer método consistía en dejar los desechos corporales y las basuras en la superficie de la tierra, en donde eran gradualmente degradados por las bacterias principalmente por el tipo anaerobio. Esto originaba la producción de olores ofensivos. Después, la experiencia demostró si estos desechos eran enterrados prontamente, se prevenía el desarrollo de tales olores. La siguiente etapa consistió en el desarrollo de los retretes o letrinas enterradas, que es un método de eliminación de los desechos de excremento que todavía se emplea.

Con el desarrollo de los suministros de agua a las poblaciones y el uso del agua para arrastrar o transportar los desechos caseros, se hizo necesario encontrar métodos para disponer no solamente de los desechos mismos, para el agua portadora. Se emplearon para los tres métodos posibles: la irrigación, la disposición subsuperficial y la dilución.

A medida que fue creciendo la población urbana, con el proporcional aumento de volumen de aguas negras y desechos orgánicos resultó que todos los métodos de disposición eran tan poco satisfactorios que se hizo imperativo tomar medidas esenciales para remediarlos y se inició el desarrollo de los métodos de tratamiento antes de la disposición final de las aguas negras.

Los objetivos que debemos considerar en el tratamiento de aguas residuales incluye:

- Conservación de las fuentes de abastecimiento de agua para uso domestico.
- La prevención de enfermedades
- La prevención de molestias
- El mantenimiento de aguas limpias para el baño y otras propósitos recreativos.

“Ruta de asimilación del carbono en un reactor en lote”

- Mantener limpias las aguas que se usan para la propagación y supervivencia de los peces.
- Conservación del agua para usos industriales y agrícolas.
- La prevención del azolve de los canales.

Una planta de tratamiento de aguas se diseña para retirar de las aguas negras las cantidades suficientes de sólidos orgánicos e inorgánicos que permiten su disposición, sin infringir los objetivos propuestos.

Los diversos procesos que se usan para el tratamiento de aguas negras siguen estrechamente los lineamientos de los de autopurificación de una corriente contaminada. Los dispositivos para el tratamiento solamente localiza y limita estos procesos a una área adecuada, restringida y controlada, proporcionan las condiciones favorables para la aceleración de las reacciones físicas y bioquímicas.

El grado hasta el cual sea necesario llevar un tratamiento determinado varía mucho de un lugar a otro. Existen tres factores básicos determinantes:

1. Las características y la cantidad de sólidos acarreados por las aguas negras.
2. Los objetivos que se propongan en el tratamiento.
3. La capacidad o aptitud que tenga el terreno (para la disposición superficial o por irrigación) o para el agua receptora (en la disposición por dilución) para verificar la autopurificación o dilución necesaria de los sólidos de las aguas negras, si violar los objetivos propuestos.

La eliminación de los sólidos flotantes por medio de coladeras es aconsejable que en las aguas negras se descarguen en las aguas costeras del mar. Sin embargo puede ser necesario eliminar una alta porción de sólidos suspendidos, llevar a cabo la descomposición de los sólidos orgánicos disueltos y destruir los organismos patógenos, antes de que se descargue a un río que ha de utilizarse aguas abajo como fuente de abastecimiento. Un tratamiento adecuado, previo a la disposición para alcanzar ciertos objetivos, es imprescindible. (Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York, 2009)

“Ruta de asimilación del carbono en un reactor en lote”

Actualmente el tratamiento de las aguas residuales comprende de procesos de tratamiento, operaciones unitarias y equipos, de tal manera que es evidente el uso de la ingeniería ambiental, que tiene una participación muy importante en la solución de problemas de aguas residuales. La clasificación convencional de los procesos de tratamiento de aguas residuales incluyen un pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario o biológico y tratamiento terciario (Ramalho, 1991).

El grado de tratamiento requerido para un agua residual depende fundamentalmente de la calidad de agua, que tiene como indicador, los límites máximos permisibles, establecidos en la normatividad vigente de México que corresponde a la NOM-001-SEMARNAT y NOM-002-SEMARNAT; que regula el destino final de las descargas de aguas tratadas procedentes de plantas de tratamiento.

Es de suma importancia el conocer las características y las posibilidades de tratamiento a las aguas residuales producidas en distintos procesos biotecnológicos, con vistas a la definición de los tratamientos más eficientes y así disponer los efluentes finales sin peligro de contaminación de la fuente hídrica o del suelo. Los procesos biotecnológicos en una planta piloto son variables de acuerdo a la producción y las operaciones, de ahí que las aguas residuales presenten diversas composiciones y concentraciones en los componentes que la constituyen.

El tratamiento biológico de las aguas residuales, tiene como finalidad remover la materia orgánica en estado coloidal y disuelta, la cual no es removida en tratamientos previos, esto se realiza por medio de una combinación de operaciones unitarias tales como lodos activados, percoladores, biodiscos rotatorios, lagunas de estabilización, lagunas de oxidación, entre otros. Se lleva a cabo por la transferencia de la materia orgánica del agua residual hacia la película o biomasa, por contacto interfacial, adsorción y absorciones asociadas. La materia orgánica es utilizada por los microorganismos para su metabolismo y generación de células nuevas, las células viejas mueren y se precipitan al fondo.

“Ruta de asimilación del carbono en un reactor en lote”

En los sistemas biológicos se tienen complejas poblaciones de microorganismos que se mezclan e interrelacionan formando consorcios o asociaciones y en la que cada uno de estas poblaciones tiene su propia curva de crecimiento, la cual depende de las condiciones del sistema, pH, temperatura, aireación, anaerobiosis y disposición de nutrientes. La eficiencia depende de ciertas características de la composición de las aguas residuales como son la densidad, concentración de sólidos, materia orgánica, pH, etc. Por lo que existen variaciones en las poblaciones de los microorganismos predominantes con respecto al tiempo en un agua residual para un sistema de tratamiento biológico (Clementina, 1992).

La relación entre el número de especies y la población total se expresa en función del Índice de Diversidad de Especies (IDE), que se define por la ecuación:

$$IDE = \frac{(S - 1)}{\log I}$$

donde: S es el número de especies, I el número total de organismos contados.

De acuerdo con los aspectos anteriores es bastante claro que el IDE es un indicador de las condiciones generales del medio acuático. Cuanto mayor es este valor más productivo es el sistema, sin embargo, su valor disminuye al aumentar la contaminación (Ramalho, 1991).

Tomado en cuenta los siguientes resultados en donde se evaluó el tratamiento aeróbico de dos efluentes industriales, utilizando reactores biológicos rotativos de contacto (RBC) bajo condiciones mesofílicas. El caudal sometido a tratamiento fue de 5,2 mL/min con un tiempo de retención hidráulico de 24 h. El RBC de 9,5 l estaba provisto de 50 discos (área de contacto total 2,443m²). La carga orgánica promedio aplicada con las aguas de producción petrolera fue de $2,04 \pm 0,27$ g DQO/m²d y con el efluente cárnico se incrementó progresivamente ($7,59 \pm 0,83$; $12,09 \pm 0,40$; $20,01 \pm 0,96$ y $24,45 \pm 1,21$ g DQO/m²d), debido al alto contenido de materia orgánica en la muestra inicial (12250 mg DQO/l). Se evaluaron los siguientes parámetros: demanda química de

“Ruta de asimilación del carbono en un reactor en lote”

oxígeno (DQO), pH, alcalinidad total, sólidos suspendidos totales (SST) y sólidos suspendidos volátiles (SSV). Para el efluente cárnico, los resultados muestran que el sistema remueve eficientemente altas concentraciones de materia orgánica, obteniéndose $87,9 \pm 5,2\%$ como valor promedio de remoción de DQO, para una carga orgánica promedio de $15,67 \pm 6,73$ g DQO/m²d. Para el efluente petrolero, se encontró $76,1 \pm 5,9\%$ como valor promedio de remoción de DQO. Es necesario evaluar un postratamiento para disminuir los valores de los parámetros fisicoquímicos evaluados a los límites de descarga permisibles a cuerpos de aguas superficiales establecidos por las normas Mexicanas. Cabe señalar que dicho trabajo se realizó en base a una alta concentración de materia orgánica y que la proyección o comparativo pueden ser de gran utilidad para el siguiente trabajo. (Behling, 2003)

II. INTRODUCCIÓN

Se ha dicho que las aguas que quedan como residuo de la actividad humana son de origen doméstico y de naturaleza industrial. Sin duda que el mayor volumen de aguas residuales corresponden a aquellas que son propias de la vida del ser humano como la limpieza, preparación de alimentos y necesidades fisiológicas. Se calcula que cada persona consume 200 litros diarios para satisfacer estas necesidades.

El empleo del agua potable en los hogares genera agua de desecho que contiene los residuos propios de la actividad humana. Parte de estos residuos son materia que consume o demanda oxígeno por oxidación de ésta, como la materia fecal, restos de alimentos, aceites y grasas; otra parte son detergentes, sales, sedimentos, material orgánico no biodegradable y también microorganismos patógenos. La materia orgánica biodegradable y algunas sales inorgánicas son nutrientes para los microorganismos. Esta agua de desecho se denomina también aguas negras o municipales y, como es sabido, se vierten en los sistemas de alcantarillado que las conducen, a los cuerpos de agua, como mar, lagos y ríos, produciendo la contaminación de estas aguas naturales.

“Ruta de asimilación del carbono en un reactor en lote”

Para caracterizar estos residuos, se utiliza una serie de parámetros analíticos que determinan su calidad física, química y biológica. Estos parámetros son la turbidez, los sólidos suspendidos, el total de sólidos disueltos, la acidez y el oxígeno disuelto. La demanda bioquímica de oxígeno que requieren los microorganismos para vivir, junto con la presencia de materia orgánica que les sirve de nutrientes, se emplea como medida de la cantidad de residuos que existen en el agua con carácter de nutrientes (Metcalf and Eddy, 1996).

El Reactor aerobio, tipo SBR, utiliza aire para proveer a las bacterias del oxígeno necesario. Se carga por lotes que son procesados rápidamente y descargados del reactor, iniciando el siguiente lote inmediatamente. Así teniendo un tratamiento que pasa por tres tanques, al hacer esto se está repitiendo el proceso asimilando más rápido el consumo de sustrato.

III. MARCO TEORICO

Los residuos deben satisfacer los objetivos estándares de la calidad de efluentes y agua para que sea posible descargarlos sin crear un problema. Las instalaciones de tratamiento para conseguir esto pueden variar desde sistemas de tratamiento relativamente sencillos con base en terrenos hasta plantas complejas y automatizadas de tratamiento de aguas residuales. En situaciones específicas varios métodos de tratamiento pueden ser igualmente idóneos. En consecuencia, la elección final se basa solo en parte del análisis de ingeniería.

Existen parámetros para dimensionar los tanques para el tratamiento de aguas residuales, los mas importantes son las características del efluente, demanda bioquímica de oxígeno y los sólidos suspendidos totales; en conjunto nos dará la eficiencia de remoción de cualquier reactor.

Tomando en cuenta las características de las necesidades energéticas podemos apreciar que junto con las enzimas se necesita energía para llevar a cabo las

“Ruta de asimilación del carbono en un reactor en lote”

reacciones bioquímicas en la célula. De ella se libera de energía al oxidar la materia orgánica e inorgánica (reacciones catabólicas) o por medio de una reacción fotosintética. Ciertos compuestos orgánicos atrapan cierta energía liberada. El compuesto más común es el adenosin trifosfato (ATP). La energía capturada por este compuesto se utiliza en la síntesis, mantenimiento y movilidad de la célula. Cuando la molécula de ATP ah gastado la energía que capturo en las reacciones anabólicas que participan en la síntesis celular y el mantenimiento de la célula, causa un estado de baja energía llamado adenosin difosfato (ADP). Esta molécula de ADP puede capturar otra vez energía liberada en la descomposición de materia orgánica o inorgánica, recobrando su estado energético, como molécula de ATP.

Las bacterias heterótrofas convierten solo una porción de los desechos orgánicos en productos finales. La energía que se obtiene de esta reacción química se utiliza en la síntesis de la materia orgánica restante en la formación de células nuevas. A medida que la materia orgánica de las aguas residuales se hace limitante, hay una reducción en la masa celular, debido a la utilización del material celular sin que sea remplazado. Si esta situación continua al final todo lo que quedará de la célula será un residuo orgánico relativamente estable. La disminución neta de la masa celular se conoce como respiración endógena. La fuente de carbono, base de la síntesis de células nuevas para los organismos quimiolitotróficos y fototróficos, es el dióxido de carbono. La energía para la síntesis de la célula proviene bien sea de la energía producida en las reacciones de oxido-reducción o de la luz.

La presencia de diferentes tipos de nutrientes para los microorganismos es necesaria debido a que: 1) proporcionan el material requerido para la síntesis de material citoplásmico, 2) trabajan como una fuente energética para el metabolismo celular, 3) sirven como aceptores para los electrones liberados en las reacciones de rendimiento energético (Tabla 1).

Considerando sus requerimientos nutricionales, los microorganismos pueden ser divididos en clases específicas. De acuerdo a la forma química del carbono requerido,

“Ruta de asimilación del carbono en un reactor en lote”

los microorganismos pueden ser clasificados como: 1) autótrofos debido a que usan CO_2 ó HCO_3^- como única fuente de carbono y construyen a partir de estos, todas las biomoléculas que demandan carbono; 2) heterótrofos los cuales requieren carbono en formas complejas de compuestos orgánicos reducidos como la glucosa.

Tabla 1. Requerimientos nutricionales de los microorganismos.

Función	Fuente
Fuente de energía	Compuestos orgánicos Compuestos inorgánicos Luz del sol
Aceptor de electrones	O_2 Compuestos orgánicos
Fuente de carbón	CO_2 , HCO_3^-
Elementos traza y factores de crecimiento como vitaminas	

Fuente: Benefield y Ramalho, 1987.

Sobre la base de la fuente de energía requerida, los microorganismos son clasificados como fotótrofos, los cuales son organismos que utilizan luz como única fuente de energía, o quimiótrofos los cuales son organismos que emplean reacciones óxido-reducción que proporcionan su energía (Tabla 2). Los quimiótrofos pueden ser además clasificados sobre la base del compuesto químico oxidado (donador de electrones). Por ejemplo los quimiorganótrofos son organismos que utilizan moléculas orgánicas complejas como su donador de electrones, mientras que los quimioautótrofos usan moléculas inorgánicas simples como ácido sulfhídrico o amonio.

Tabla 2. Reacciones típicas para organismos según sus requerimientos nutricionales.

“Ruta de asimilación del carbono en un reactor en lote”

Reacción Microbiana	Clasificación Nutricional
$\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{luz}} (\text{CH}_2\text{O}) + \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$	Autótrofo, fotosintético (fotoautótrofo)
$(\text{CH}_2\text{O}) + \text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	Respiración celular, aeróbico
$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2 \longrightarrow 6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$	Heterótrofo, (quimiorganótrofo) aeróbico
$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \longrightarrow 2\text{C}_2\text{H}_6\text{O} + 2\text{CO}_2$	Heterótrofo, anaerobio, fermentativo
$\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2 \longrightarrow \text{CH}_4 + \text{HCO}_3$	Heterótrofo, anaerobio, fermentativo
$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 12\text{KNO}_3 \longrightarrow 12\text{KNO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} + 6\text{CO}_2$	Heterótrofo, anaerobio, intermolecular oxido-reductiva
$2\text{NH}_3 + 3\text{O}_2 \longrightarrow 2\text{HNO}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$	Autótrofo, quimiosintético (quimioautótrofo), aeróbico
$5\text{S} + 2\text{H}_2\text{O} + 6\text{HNO}_3 \longrightarrow 5\text{H}_2\text{SO}_4 + 3\text{N}_2$	Quimioautótrofo, anaerobio

Fuente: Benefield y Ramalho, 1987.

Una manera de conocer la diversidad de organismos que tiene una población en cualquier ambiente acuático es por la complejidad de esta. Se considera que una comunidad es más compleja mientras mayor sea el número de especies que la compongan (más vías de flujo de energía en la cadena trófica) y mientras menos dominancia presenten una o más especies con respecto a las demás. La diversidad es la característica de las comunidades que mide ese grado de complejidad. Aún cuando la diversidad es un concepto que puede entenderse fácilmente en forma cualitativa (Franco *et al.*, 1995).

Los tratamientos mediante plantas acuáticas consisten en uno o más tanques poco profundos en los que crecen uno o más especies de plantas vasculares, que se clasifican entre flotantes o raíces suspendidas. La escasa profundidad y la presencia de micrófitos acuáticos en vez de algas son las diferencias más importantes entre los sistemas de tratamiento mediante plantas acuáticas. La presencia de plantas tiene una gran importancia práctica, ya que el efluente será de mayor calidad que el procedente de los estanques de estabilización, para tiempos de retención menores o similares.

IV. JUSTIFICACIÓN

El proceso aerobio es empleado en la eliminación de materia orgánica, el cual permite descargar efluentes con calidad suficiente para ser descargados a sistemas de alcantarillado o cuerpos de agua superficial o subterránea. Sin embargo, implica altos costos de operación (aireación) por lo que el presente trabajo demuestra que este costo es disminuido por la aireación que se combina con la presión inversa y hace que se recircule el agua problema. Dicho proceso se efectúa por diversos grupos de microorganismos que oxidan la materia orgánica en presencia de oxígeno convirtiendo las unidades poliméricas a monómeros que representan compuestos con estructuras más estables y fácilmente asimilables o bien hasta su mineralización completa (CO₂ y H₂O). En los principales procesos aerobios, se encuentran el crecimiento de biomasa en lecho suspendido y lecho fijo. Sin embargo, estas poblaciones microbianas no permanecen constantes durante el tratamiento de aguas, ya que hay variaciones en el tiempo que pueden ser muy drásticas lo que se conoce como sucesión de poblaciones. Dichas variaciones aunque ocurren continuamente en los procesos de tratamiento biológicos pueden existir límites pues si no se colapsaría el sistema. Debido a que falta mucha información para conocer la variedad de organismos presentes y sus mecanismos para transformar el sustrato, se pretende seguir la ruta de asimilación de carbono, así como ciertos factores nutricionales y ambientales que puedan influir en las comunidades poblacionales existentes en un tratamiento por lodos activos real y su consecuente disminución en el rendimiento y/o eficiencia de operación. Se ha determinado que existe una gran ausencia del comportamiento de los reactores en lote con lecho suspendido, pues la mayoría de los reactores a nivel piloto, semi piloto y de manera industrial, son reactores continuos y muchas veces con la característica de operar con lecho fijo. Es por eso que al utilizar el reactor en lote aerobio con lecho suspendido, se encuentran beneficios, debido a que se tiene un reactor el que a su vez es aireado bajo presión inversa llegando a una recirculación, el cual permite monitorear su bioenergética específica con una fracción de biomasa y sustrato presente, además de observar las tasas de consumo de oxígeno disuelto en el sistema y fuente de alimento como la tasa de incremento de biomasa. Se debe contemplar la posibilidad de

“Ruta de asimilación del carbono en un reactor en lote”

que en futuras investigaciones quedan abiertas las líneas de investigación ya que en bibliografía se encuentra muy escueto el comportamiento de este tipo de reactor.

V. HIPÓTESIS

El agua residual posee una gran diversidad de población biológica por lo que al obtener los datos biocinéticos se obtendrá la ruta de asimilación de carbono, por lo tanto, si se obtiene los resultados de un monitoreo de tallado del reactor con las diferentes características del reactor y el comportamiento, se pretende utilizar las variables biocinéticas y poder mejorar la eficiencia de los reactores biológicos, en el tratamiento de aguas residuales.

VI. Objetivo General

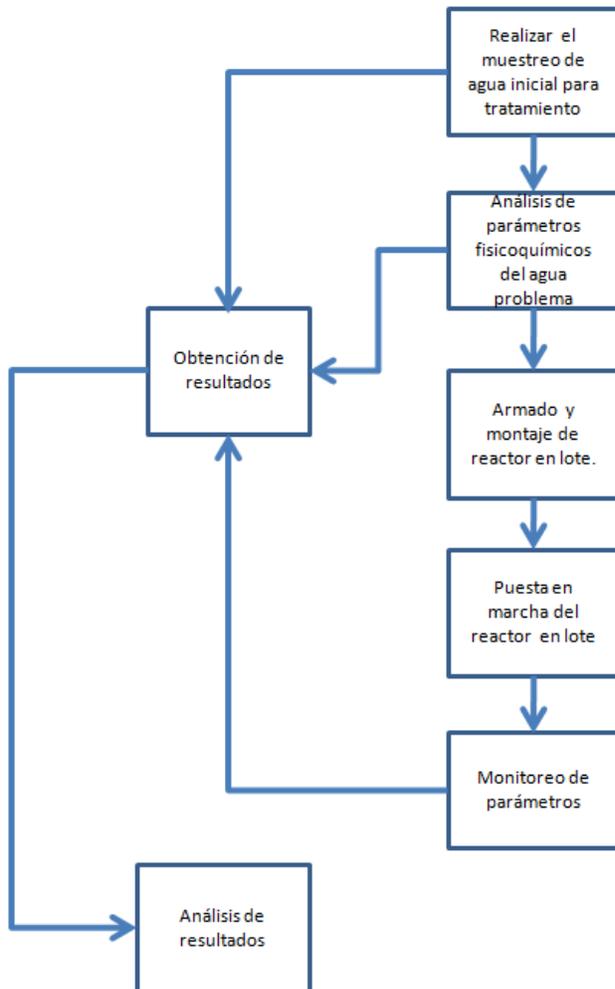
- Identificar la ruta de asimilación del carbono y en base a este parámetro observar la factibilidad del reactor en lote, al tratar aguas residuales.

VI.I. Objetivos Particulares

- Caracterizar y Monitorear el reactor a manera de obtener datos para saber el comportamiento de los microorganismos antes, durante y al final del tratamiento.
- Obtener la eficiencia del reactor con respecto a los parámetros monitoreados y realizar la evaluación del reactor con los resultados del rendimiento.
- Obtener los parámetros biocinéticos al termino del monitoreo para determinar rendimiento, consumo de biomasa, consumo de sustrato y kilogramos de oxígeno.
- Conocer en términos cuantitativos la asimilación del carbono por la población presente en un ecosistema, mediante la aplicación de estimaciones cinéticas de la biomasa neta, tasa de crecimiento específico y tasa de consumo de sustrato.

VII .METODOLOGÍA

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO



DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA

1. Muestreo de agua residual. Se realizará el muestreo con respecto a la normatividad vigente.

“Ruta de asimilación del carbono en un reactor en lote”

Citando las siguientes normas para su determinación:

Norma Mexicana NMX-AA-003	Aguas residuales-Muestreo, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 25 de marzo de 1980.
Norma Mexicana NMX-AA-012	Aguas-Determinación de oxígeno disuelto en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba. Publicada en el Diario oficial de la Federación el 13 de diciembre de 2001.
Norma Mexicana NMX-AA-028	Aguas-Determinación de demanda bioquímica de oxígeno.- Método de incubación por diluciones, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 6 de julio de 2001.
Norma Mexicana NMX-AA-034	Aguas-Determinación de sólidos en agua.- Método gravimétrico, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 3 de julio de 2000.
Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996	Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 6 de enero de 1997 y su aclaración, publicada en el citado órgano informativo el 30 de abril de 1997.

MUESTREO DE AGUA

CARACTERIZACION DEL AGUA

Parte de la muestra colectada (Figura 3), se empleo para los análisis de campo, y el volumen restante para la formación de muestras compuestas del día. Los parámetros que se determinaron fueron: temperatura del agua, temperatura ambiente, pH. Las características físicas más importantes del agua son el contenido total de sólidos, término que engloba la materia en suspensión, la materia sedimentable, la materia coloidal, y la materia disuelta, a partir de estos se particulariza a parámetros biológicos

“Ruta de asimilación del carbono en un reactor en lote”

como la DBO_5 o la cantidad de microorganismos. Otras características físicas importantes son el olor, densidad, color y turbiedad.



Figura 1. Muestreo de agua.

PARÁMETROS A CONSIDERAR A LA ENTRADA Y SALIDA DE L REACTOR

PH

La concentración de ion hidronio es un parámetro de calidad de gran importancia tanto para las aguas naturales como residuales. El intervalo de concentración adecuado para la apropiada proliferación y desarrollo de la mayor parte de la vida biológica es bastante estrecho y crítico. El agua residual con concentraciones de ion hidronio inadecuada presenta dificultades de tratamiento con procesos biológicos y el efluente puede modificar la concentración de ion hidronio en las aguas naturales si esta no se modifica antes de la evacuación de las aguas. La determinación del pH se realiza en campo, es decir en la muestra simple e instantánea utilizando un potenciómetro portátil.

$$PH = 6-7$$

SÓLIDOS TOTALES.

Analíticamente se define el contenido total de sólidos como la materia que se obtiene como residuo después de someter el agua a un proceso de evaporación entre 103°C a 105°C. No se define sólido aquella materia que se pierde durante la evaporación debido a su alta presión de vapor. Los sólidos totales se pueden clasificar en filtrables o no filtrables (sólidos en suspensión) haciendo pasar un volumen conocido de líquido por un filtro. Para este proceso de separación suele emplearse un filtro de fibra de vidrio con un tamaño de poro nominal de 1.2µm, aunque también suele emplearse filtro de membrana de poli carbonato.

OXÍGENO DISUELTO

Los niveles de oxígeno disuelto (OD) en aguas naturales, residuales y residuales tratadas dependen de las actividades químicas, físicas y bioquímicas en los cuerpos de aguas.

DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO).

Se entiende por demanda química de oxígeno (DQO), la cantidad de materia orgánica e inorgánica en un cuerpo de agua susceptible a ser oxidada por un oxidante más fuerte. Se describen dos métodos para la determinación con dicromato. El método de reflujo abierto es conveniente para aguas residuales en donde se requiere utilizar grandes cantidades de muestra. El método a reflujo cerrado es más económico en cuanto al uso de reactivos, pero requiere una mayor homogenización de las muestras que contienen sólidos suspendidos para obtener resultados reproducibles. Después de la digestión, el dicromato no reducido se mide por titulación o espectrofotometría para determinar la cantidad de dicromato consumido y calcular la materia oxidable en términos de oxígeno equivalente.

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO₅ (DBO₅).

Es una estimación de la cantidad de oxígeno que requiere una población microbiana heterogénea para oxidar materia orgánica de una muestra de agua en un periodo de 5 días. El método se basa en medir el oxígeno consumido por una población microbiana en condiciones en las que se ha inhibido los procesos fotosintéticos de producción de oxígeno en condiciones que favorecen el desarrollo de los microorganismos.

2. Recopilación de los modelos de evaluación y diversidad de población de organismos. Recopilación de modelos de la diversidad y variedad de especies representativas, presentes en el licor mezclado del reactor principal de la planta de tratamiento.
3. Monitoreo del agua dentro del reactor biológico. Medir las características físicas del reactor obteniendo los parámetros de campo como los son pH, temperatura, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto.
4. Toma de muestra. Al agua que se encuentra en tratamiento, para obtener las eficiencias de remoción con respecto a la calidad del agua.
5. Análisis inicial de muestras de los efluentes domésticos.

Determinación de parámetros físicos, químicos y microbiológicos descritos en la NOM-001-SEMARNAT. Dichos parámetros son: materia orgánica, turbiedad, temperatura, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos, sólidos disueltos, nitrógeno, fósforo, grasas y aceites, demanda bioquímica de oxígeno, huevos de helminto, coliformes totales. Dichas determinaciones se llevarán a cabo en el laboratorio Sanitaria de la Escuela superior de ingeniería y Arquitectura, (ESIA-UZAC) Tabla 1 de parámetros y límites máximos permisibles.

“Ruta de asimilación del carbono en un reactor en lote”

Tabla 3. Parámetros a considerar y límites permisibles de acuerdo a las normas NOM-003-SEMARNAT-1997.

Parámetro	Límites
pH	5-10
Temperatura	40°
Grasas y aceites	15mg
SST	30mg
DBO ₅	30
Coliformes fecales	1000
Huevos de helminto	5

Para determinar estos parámetros fue necesario revisar las NMX necesarias para los análisis las cuales se encuentran en el ANEXO 2.

6. Montaje del reactor aerobio en lote ubicado en el laboratorio Sanitaria de la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, (ESIA-UZAC) usando el agua del Lago del Bosque San Juan de Aragón y la materia orgánica del mismo como sustrato.

Descripción del armado del reactor.

El reactor comprende de los siguientes materiales para que arranque:

REACTOR

Materiales

- 6 tuercas unión de ½ in de pvc, marca kbi.
- 3 mangueras de ½ in transparente
- 6 conectores de rosca de ½ in pvc blanco.

“Ruta de asimilación del carbono en un reactor en lote”

- 3 codos de ½ in pvc.
- 3 mangueras con difusor de aire, transparentes.
- 3 garrafones de agua de 20 L.
- 3 mangueras de 0.5 mm para oxígeno.
- 1 tubo de silicón
- Bomba de oxígeno de 3.5 watts
- Bomba de recirculación de 2.5 watts(o bomba peristáltica)
- Lirios acuáticos
- Volumen de 16-18L
- Flujo continuo de 3.5 l/min
- Alimentación de 1.0-1.5 L/min

El armado del reactor comprende de tres tanques de 20L que se unen con tres mangueras de ½ pulgada de 20 cm de largo y conectores de pvc gris de ½ pulgada con rosca. Para el sistema de aireación se utiliza mangueras ½ inc conectadas a mangueras de 0.5 cm que permitirá la aireación con una bomba de 0.5 psi con la cual se genera la presión inversa, para la circulación del caudal.

El reactor debe ser armado para su funcionamiento, con todos los materiales, cada uno de los materiales de unión deberán ser sellados con silicón, para evitar las posibles fugas.

El reactor se encuentra operando en lote con una presión inversa para dar la circulación de agua que es aproximada a 0.5 litros por minuto. (Anexo 2) tomando en cuenta el beneficio que esto acarrea debido a que no se están utilizando dos procesos para conseguir la aireación y la recirculación, haciendo más efectiva la remoción de sólidos suspendidos.

OPERACIÓN DEL EQUIPO

Al unir todas las piezas del reactor se pone a funcionar, se realizaron pruebas con agua potable. Una vez que el reactor no presenta ningún tipo de fuga y no tiene ningún problema en cuanto a su funcionamiento, se pone en marcha con la muestra problema, dicha muestra es seleccionó del Lago de San Juan de Aragón, a la cual se le ha realizado diferentes pruebas en la caracterización, dentro de las cuales destacan las que evalúan el sistema de tratamiento como son: sólidos suspendidos totales (SST), sólidos suspendidos volátiles (SSV), demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO).

Además de los parámetros de sitio como pH, temperatura, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto. Estos últimos parámetros son participe del comportamiento del reactor debido a que se monitorea desde la puesta en marcha hasta el final del tratamiento.

7. Definición de la complejidad de la población de organismos con base a su fuente energética requerida.
8. Caracterización del agua tratada para realizar la comparación de los datos y los cálculos pertinentes para obtener los parámetros biocinéticos.
9. Determinación de producción neta de biomasa, cinéticas de crecimiento y tasas de consumo de sustrato, con base a parámetros biocinéticos y fisicoquímicos obtenidos en literatura y laboratorio respectivamente. Los parámetros biocinéticos serán: “ Y , K_d , K , V_{uo} , a , b , trh , trc , Δxv y μ los fisicoquímicos son los anteriormente descritos.
10. Caracterización final del agua de los parámetros anteriormente mencionados después de un periodo de operación continúa de 50 días del reactor.

VIII.RESULTADOS

VIII.1.CARACTERIZACION DE AGUA AL INICIO DE LA PUESTA EN MARCHA

La caracterización al inicio del proceso de tratamiento es indispensable ya que no se tienen las condiciones iniciales del agua a trata y tiene mucha prioridad que dicha caracterización nos de las condiciones en las que se encuentra dicha agua, en cuanto a sus propiedades fisicoquímicas. Por lo cual se obtienen los siguientes resultados contemplando los parámetros de sólidos totales (SST) Tabla 4, sólidos sedimentables (SD) Tabla 5, Demanda química de Oxígeno (DQO) Tabla 6 y la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) Tabla 7.

Los resultados arrojados en la prueba de determinación de sólidos totales, nos muestra las condiciones de inicio presentes en el agua. La cual nos da la pauta para saber cuánto disminuirá la concentración de sólidos al término del tratamiento.

TABLA 4. SOLIDOS TOTALES

SST
86.7
87.3
88.4

La prueba de sólidos totales dio como resultado en la caracterización del agua problema de más 87.4 mg/l por lo que se debe realizar una minimización de dicho parámetro, se sabe que al utilizar el reactor se debe reflejar una disminución de dicho parámetro para poder mostrar el porcentaje de eficiencia. Así como el comportamiento de la biomasa encontrada en el agua a tratar.

TABLA 5. SOLIDOS SEDIMENTABLES

SS
0.1
0.1
0.1

Se observa el resultado de sólidos sedimentables de un 0.1 % por litro de muestra, este parámetro nos confirma que la existencia de sólidos sin embargo no es característica primordial debido a que el proceso es en base al lecho suspendido y que en efecto al paso del tiempo se generará una sedimentación que se vendrá efectuando a lo largo del proceso mediante la aireación en la que se somete de acuerdo con la bibliografía al someter a una agua residual a aireación se favorece la sedimentación por lo que este parámetro podrá variar dependiendo de esto. (Metcalf and Eddy).

TABLA 6. DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO

DQO
121.4 mg/l
122 mg/l
123 mg/l

Se obtiene el promedio de la demanda química de oxígeno y se puede observar que el parámetro está elevada con respecto a la agua potable y los límites máximos permisibles, el promedio de este parámetro es de 122.1 mg/l por lo que se asegura que el agua proviene de un cuerpo receptor como lo es el Lago de Aragón.

TABLA 7. DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO

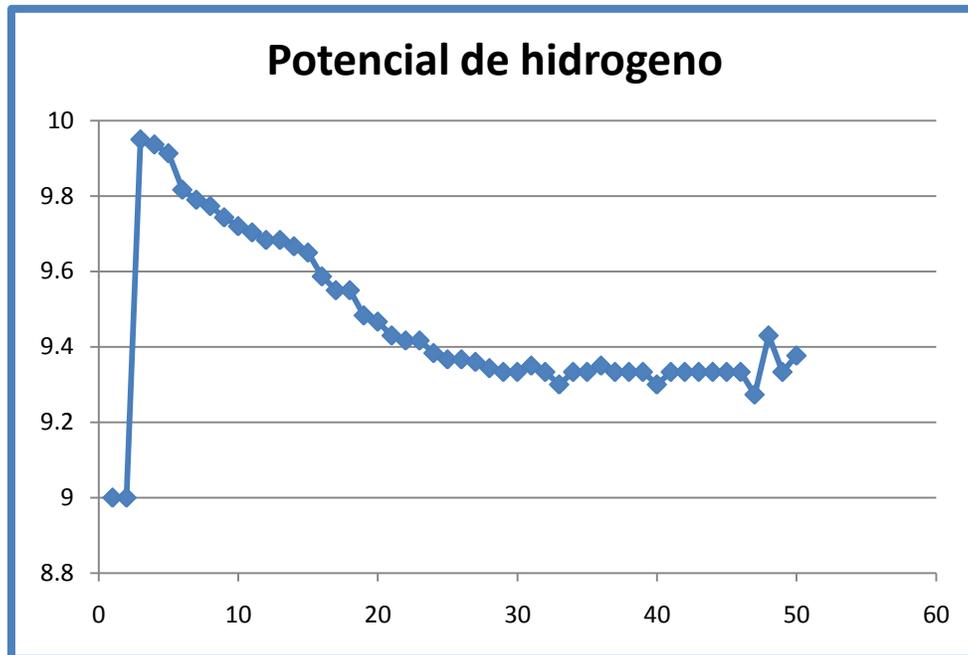
DBO
64.6 mg/l
65.4 mg/l
60.5 mg/l

El resultado que arroja la caracterización con respecto a la demanda bioquímica es de un promedio 63.5 mg/l y si observamos la normatividad vigente esta por arriba de los límites máximos permisibles por lo que se requiere de realizar un tratamiento de aguas para minimizar el impacto ambiental al ser reutilizado, recordemos que este parámetro da la pauta para saber que tanta carga de microorganismo puede tener el agua y cuanto podremos bajar esta concentración para saber así la eficiencia de nuestro proceso.

VIII.2.MONITOREO DEL REACTOR

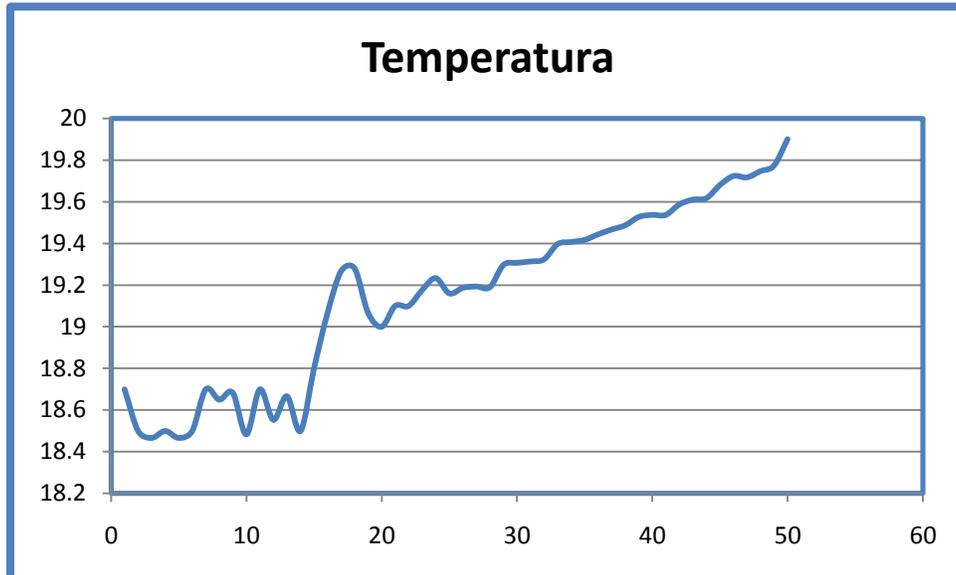
Los parámetros que se monitorearon fue el pH, la temperatura, la conductividad eléctrica y el oxígeno disuelto. Se presentan las siguientes graficas para observar el comportamiento del reactor al momento de la operación.

Figura 2. Potencial de Hidrogeno.



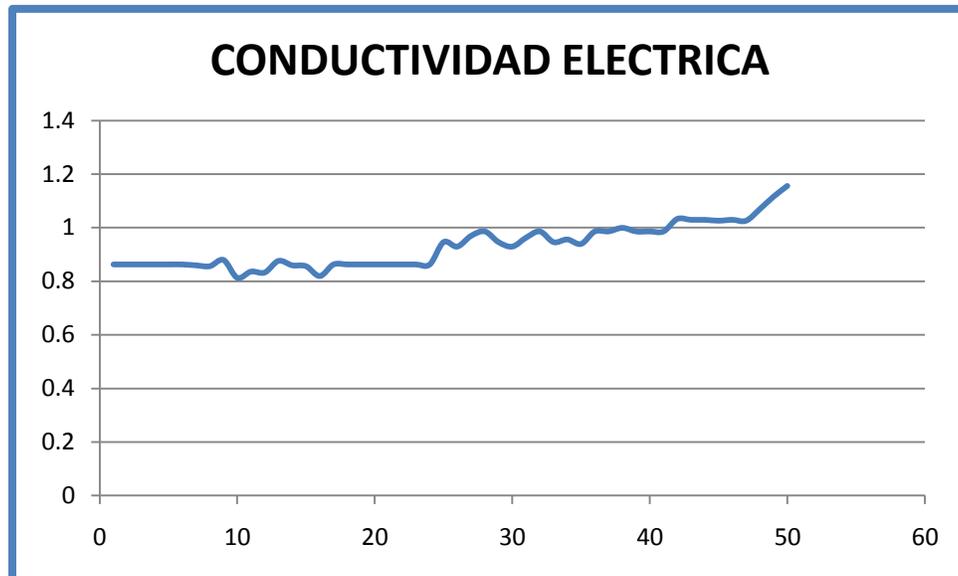
La Figura 2 muestra que el potencial de hidrogeno que en un inicio estaba en 9.89 y fue disminuyendo hasta que llego a ser constante en 9.3, según datos los reactores al establecer este parámetro el funcionamiento es en base a la actividad de la biomasa, por lo tanto, dicho parámetro al establecerse logra un funcionamiento optimo ya que los microorganismos encuentran una estabilidad en su hábitat que favorece a su ciclo de vida, ayudando a la degradación. Quiere decir que los microorganismos al estar estables pueden consumir más los contaminantes presentes en el agua que se esté tratando.

Figura 3. Temperatura.



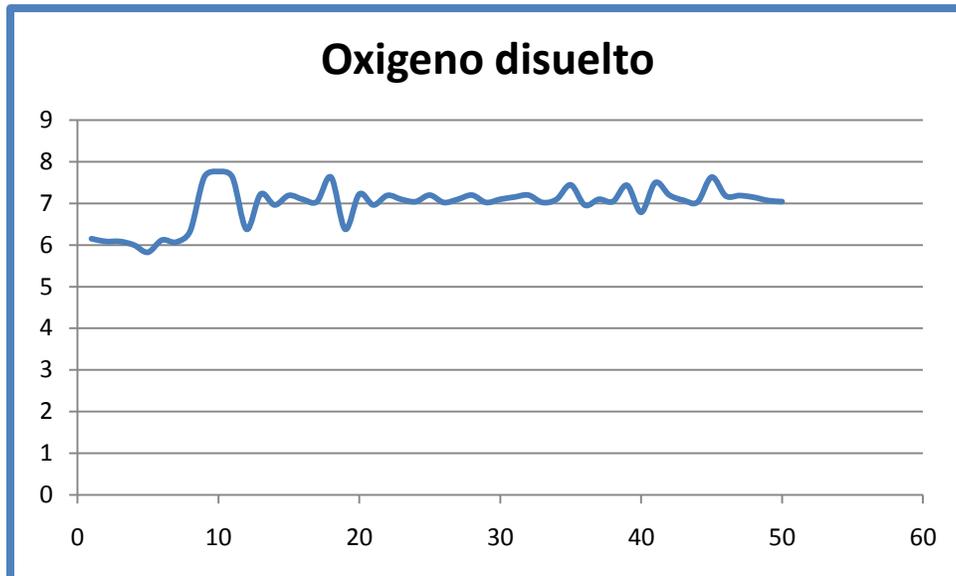
La figura 3 que corresponde al parámetro de temperatura nos muestra la variabilidad en cuanto a este parámetro, cabe mencionar que el reactor se monitoreo en fechas extremas debido a que se monitoreo en invierno por lo que se observan temperaturas de 18.3 y parte de la primavera se puede observar que la temperatura subió a 19.9, a lo que se observo que al subir la temperatura, los microorganismos aceleran su metabolismo y puede ayudar al consumo de contaminantes; por lo que se observa que la tendencia de la grafica es a elevar la temperatura. Cabe señalar que el reactor se monitoreo en climas extremos aunque se intento que no sufriera un choque de temperaturas muy espontaneo aunque como se puede observar en el grafico hubo días en que subía y bajaba la temperatura pero no perdió la tendencia a elevarse. (figura 3)

Figura 4 Conductividad eléctrica.



La conductividad eléctrica, dicho parámetro es uno de los más primordiales debido a que con este podemos observar (Figura 4) si la concentración de sólidos se ha reducido o no ya que nos indica que entre más se eleve este parámetro más degrada la concentración de sólidos suspendidos en el medio. Es decir que el agua tratada está perdiendo la concentración inicial de los sólidos suspendidos, entonces, al ver la tendencia de nuestra Figura 4 se puede entender que la concentración de sólidos suspendidos y totales ha disminuido, presentando en este punto la eficiencia a simple vista de nuestro reactor.

Figura 5. Oxígeno Disuelto



En la Figura 5 en donde muestra el parámetro del oxígeno disuelto está en función de la dosificación de la presión inversa del reactor por lo que es conveniente que se monitoree este parámetro para el consumo de oxígeno de la biomasa. En general durante todo el tiempo la concentración de oxígeno disuelto permaneció constante no existe una gran variación y debido a esta característica podemos saber las condiciones de los microorganismos presentes, ya que al estar tan estable este parámetro se puede decir que el reactor no se descompensó en oxígeno y no sobrepasó este parámetro.

VIII.3. AGUA RESIDUAL TRATADA.

Los resultados de la caracterización a la salida del reactor son los mismos parámetros que se monitorearon al inicio sólidos totales (SST) Tabla 8, sólidos suspendidos (SS)Tabla 9, demanda química de oxígeno (DQO) Tabla 10 y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) Tabla 11, esto nos servirá para comparar los resultados y calcular la eficiencia del reactor.

TABLA 8. SOLIDOS TOTALES

SST
30
31
29

Se toma en cuenta que los resultados obtenidos de la caracterización a la salida del reactor a disminuido en un 34.3 % y que este parámetro es de los importantes para calcular la eficiencia de remoción de nuestro reactor al tener la comparación de los resultados nos damos cuenta que los sólidos suspendidos se degradaron con respecto al tiempo y el consumo de oxígeno.

TABLA 9. SOLIDOS SUSPENDIDOS

SS
0.1 ml
0.1 ml
0.1 ml

“Ruta de asimilación del carbono en un reactor en lote”

Se observa una demanda de sólidos suspendidos de un 0.01 % por litro de muestra, este parámetro nos confirma que la variación, en cuanto a su precipitación es de menor importancia ya que cabe señalar que este parámetro no excede los límites máximos permisibles.

TABLA 10. DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO

DQO
115.4mg/l
116.2mg/l
115.2 mg/l

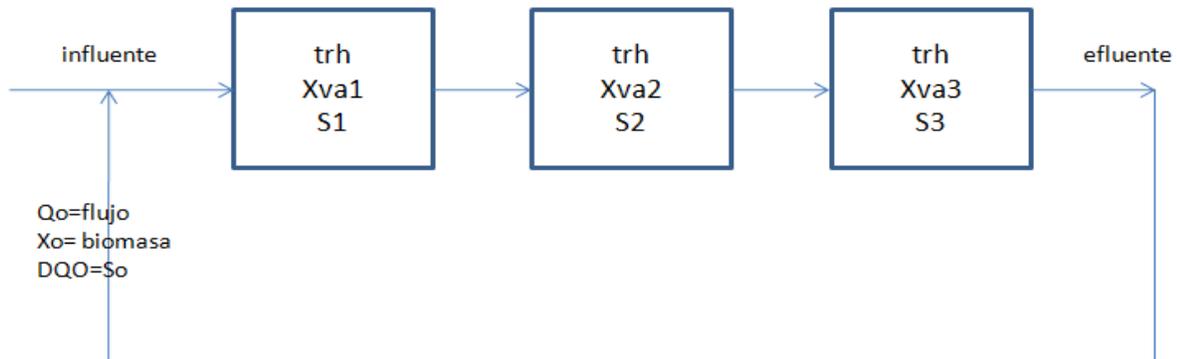
Al tomar en cuenta el resultado establecido y haciendo la comparación de los resultados se observa que a disminuido la demanda química de oxígeno asegurando el consumo de sustrato.

TABLA 11. DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO

DBO
54.5 mg/l
55.0 mg/l

VIII. 4 MEMORIA DE CÁLCULO DE LOS PARAMETROS BIOCINETICOS

VIII.4.1 Determinación de las variables a utilizar



Para demostrar la eficiencia del reactor se realizaron los siguientes cálculos en cuanto al gasto y el comportamiento de los parámetros biocinéticos.

VIII.4.2.CALCULANDO EL GASTO O FLUJO

Calculamos el flujo de nuestro reactor para obtener los parámetros biocinéticos y determinar la eficiencia.

$$Q = \frac{V}{t}$$

$$Q = \frac{3.5l}{60seg} = 5.83 \times 10^{-2} l/seg$$

VIII.4.3.CALCULOS BIOCINETICOS

VIII.4.3.3RELACION DE DBO y DQO

“Ruta de asimilación del carbono en un reactor en lote”

La relación DBO-DQO se obtiene para demostrar la relación de biomasa y el consumo de sustrato que se tiene en el reactor, por lo que al obtener el cálculo de este parámetro nos permitirá observar cual es el comportamiento de nuestro reactor con respecto al consumo de glucosa.

$$RELACION = \frac{DBO \text{ final}}{DQO \text{ final}} =$$

$$RELACION = \frac{54.45}{115.4} = 0.47 \text{ mg/l}$$

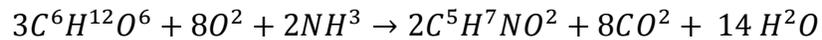
Es imprescindible conocer la producción del consumo de oxígeno para diseñar reactores biológicos aerobios por lo cual se deben calcular los parámetros biocinéticos de acuerdo a la propuesta de Eckenfelder y sus colaboradores.

El sustrato se consume de dos formas durante el proceso biológico, por metabolismo celular, que comprende de que parte del sustrato después de haber sido consumido como alimento por los microorganismos, se utiliza para sintetizar nuevas células de microorganismos, lo que conduce a un aumento de biomasa; esto corresponde a la fase de síntesis. Por otro lado la parte del metabolismo energético, el sustrato que resta se oxida siendo los productos finales fundamentalmente CO₂ y H₂O, este proceso de oxidación es esencial para la producción de energía de mantenimiento, utilizada por las células para continuar sus funciones vitales, tales como síntesis de nuevas células y movilidad. (Ramalho, 1991)

Tomando en cuenta la síntesis de la glucosa y que a partir de la ecuación general balanceada del consumo de esta misma, se obtendrá el consumo de oxígeno y la producción de biomasa a partir de un balance estequiométrico ideal.

Tenemos que:

“Ruta de asimilación del carbono en un reactor en lote”



$$y = \frac{\text{Biomasa (enzima)}}{\text{Sustrato(sustrato)}} =$$

$$y = \frac{\Delta C_5H_7NO_2}{\Delta C_6H_{12}O_6} =$$

$$y = \frac{2 \text{ moles (113) gmol}}{3 \text{ moles (180)g mol}} = 0.42 \text{ gr de celula/gr glucosa}$$

Cabe señalar que entre más cercanos se encuentren los valores a este cociente teórico es mayor la eficiencia de un sistema biológico aerobio y viceversa pues se usa un sustrato ideal y una biomasa específica e ideal.

La prueba de DQO es utilizada para medir el material orgánico presente en las aguas residuales, susceptible de ser oxidado químicamente.

Determinamos la DQO con respecto al consumo de glucosa :

$$DQO_{glucosa} = \frac{\Delta O_2}{\Delta C_6H_{12}O_6} =$$

$$DQO_{glucosa} = \frac{6 \text{ moles (32)gr/mol}}{180 \text{ gr/mol}} = 1.07 \frac{\text{gr } O_2}{\text{gr glucosa}}$$

$$DQO_{usada} = (DQO \text{ reactor}) * 1.07 \frac{\text{gr } O_2}{\text{gr glucosa}} =$$

Determinamos el consumo de la DQO que a lo largo de la operación del reactor se uso.

$$DQO_{usada} = (0.1154\text{gr}) * 1.07 \frac{\text{gr } O_2}{\text{gr glucosa}} = 0.123478\text{gr/l}$$

“Ruta de asimilación del carbono en un reactor en lote”

$$DQO_{usada} * Q =$$

$$0.123478 * 5.83 \times 10^{-2} = 0.007170 \frac{\text{gr } O_2}{\text{gr glucosa}}$$

VIII.4.3.2. CALCULANDO LA DQO DE LA BIOMASA

Una vez que se haya consumido la materia orgánica, los microorganismos entran en la fase de respiración endógena, bajo estas condiciones se oxida materia celular para satisfacer las necesidades energéticas y de mantenimiento, en consecuencia la cantidad de biomasa se reducirá.

Con respecto a la respiración endógena se tiene:



$$DQO = \frac{160}{113} = 1.42 \frac{\text{grDQO}}{\text{gr biomasa}}$$

DQObiomasa Nos demuestra la cantidad de biomasa

$$DQObiomasa = (SST \text{ final} * 1.42 \frac{\text{grDQO}}{\text{gr biomasa}})$$

$$DQObiomasa = \left(0.030 * 1.42 \frac{\text{grDQO}}{\text{gr biomasa}} \right) 5.83 \times 10^2 \text{ l/seg}$$

$$DQObiomasa = 0.002483 \text{ gr /seg}$$

VIII.4.3.3. CALCULANDO DQO A LA SALIDA

$$DQO_{salida} = DQO_{final} * Q$$

“Ruta de asimilación del carbono en un reactor en lote”

$$DQO_{salida} = \frac{115.4mg}{l} * 5.83 \times 10^{-2} l/seg$$

$$DQO_{salida} = 6.7278 \text{ mg/seg}$$

VIII.4.3.4. CALCULANDO DQO REMOVIDA

$$DQO_{removida} = (DQO_{inicial} - DQO_{final}) * Q =$$

$$DQO_{removida} = (121.4mg/l - 115.4mg/l) * 5.83 \times 10^{-2} l/seg =$$

$$DQO_{removida} = 0.3498 \text{ mg/seg}$$

VIII.4.3.5. CALCULANDO LA DQO TOTAL

Relación del consumo de sustrato y biomasa.

$$DQO_{total} = (DQO_{biomasa} + DQO_{salida}) * Q =$$

$$DQO_{total} = (0.002483mg/l + 6.7278mg/l) * 5.83 \times 10^{-2} l/seg =$$

$$DQO_{total} = 0.3923 \text{ mg/seg}$$

VIII.4.3.6. CALCULANDO EL RENDIMIENTO

El rendimiento “Y” representa la producción de lodo biológico por kilogramo de sustrato total consumido.

Rendimiento

$$y = \frac{SS}{DQO}$$

$$y = \frac{30mg/l}{115.4mg/l} = 0.2599$$

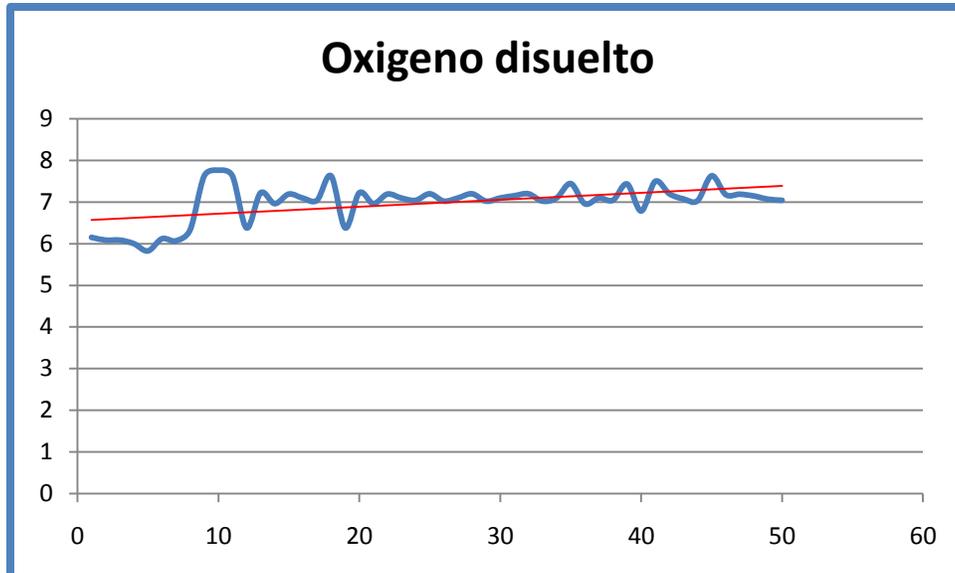
VIII.4.3.7. CALCULO DE VELOCIDAD DE UTILIZACIÓN DE OXIGENO

“Ruta de asimilación del carbono en un reactor en lote”

La velocidad de utilización de oxígeno se calcula para saber el consumo de oxígeno por día con respecto al volumen del reactor. Nos viene definida por el oxígeno utilizado por los microorganismos por unidad de tiempo.

$$V_{uo} = 15.883 \text{ mg/l seg}$$

Figura 6. Pendiente con respecto a la velocidad de oxígeno.



Obtenemos la pendiente 15.8839695

VIII.4.3.8.CALCULANDO EL OXIGENO REQUERIDO PARA OXIDAR

También llamado tasa de utilización de oxígeno disuelto en el reactor, se calcula para obtener el consumo de sustrato y la velocidad de específica de la biomasa.

$$RO_2 = \frac{V_{uo}}{X_{va}} =$$

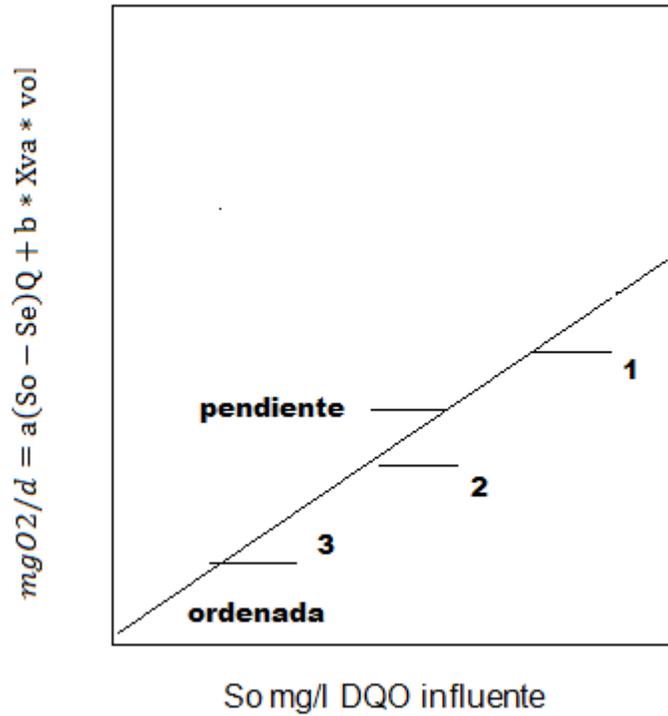
$$RO_2 = \frac{15.883}{30} = 0.5294 \text{ seg}^{-1}$$

VIII.4.3.9. CALCULO DE OXIGENO REQUERIDO PARA OXIDAR EL SUSTRATO

Este parámetro se calcula para obtener los kilogramos de oxígeno requeridos por día.

“Ruta de asimilación del carbono en un reactor en lote”

$$mgO_2/d = a(S_o - S_e)Q + b * X_{va} * vol$$



En donde:

$$\frac{mgO_2}{d} = \text{miligramos de oxígeno por día}$$

a = la pendiente

$(S_o - S_e)$ = diferencia entre la DQO de entrada y DQO de salida

Q = flujo del reactor

b = la ordenada al origen

X_{va} = concentración de sólidos a la salida

vol = cantidad de agua a tratar

“Ruta de asimilación del carbono en un reactor en lote”

$$\frac{mgO_2}{d} = 15.88(121.4 - 115.4)5.83 \times 10^{-2} + 2.5 * 30 * 56$$

$$\frac{mgO_2}{d} = 4205.55 \text{ mg/seg}$$

VIII.4.3.10. CALCULO DE TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRAULICO

El tiempo corresponde al tiempo requerido para que una partícula sólida se traslade del influente del primer reactor al efluente del tercer reactor.

$$trh = \frac{vol}{Q} =$$

$$trh = \frac{56 \text{ lt}}{5.83 \times 10^{-2} \text{ lt/seg}} = 960 \text{ seg}$$

VIII.4.3.11. CALCULANDO LA RELACION A/M

La relación A/M constituye un parámetro importante que mide la razón entre el alimento presente en las aguas residuales crudas y los organismos en el tanque de aireación.

$$A/M = \frac{DQ_{\text{final}}}{X_{va} * trh} =$$

$$\frac{A}{M} = \frac{115.4}{30 * 960} = 4.00694 \times 10^{-3} \text{ seg}^{-1}$$

$$A/M = \frac{DBO_{\text{final}}}{X_{va} * trh} =$$

$$\frac{A}{M} = \frac{54.45 \frac{\text{mg}}{\text{l}}}{\frac{30 \text{mg}}{\text{l}} * 960 \text{ seg}} = 0.0018906 \text{ seg}^{-1}$$

VIII.4.3.12. CALCULANDO PRODUCCION NETA DE BIOMASA

Al calcular la producción neta de biomasa obtenemos la cantidad total de todo el componente orgánico dentro del reactor (biomasa, sustrato, nutrientes carbonatados, fosfatos, nitratos, nitritos y nitrógeno amoniacal)

$$\Delta xv = Y(S_o - S_e)Q - K_d * X_{va} * vol$$

en donde K_d es igual a $0.06 d^{-1}$ (Ramalho,1991), se considera este valor por que el reactor es aerobio.

$$\Delta xv = 0.2599(121.4 - 115.4) * 5.83 \times 10^{-2} (4.1666 \exp - 5)(30)(56) =$$

$$\Delta xv = 1.5634 \text{mg/seg}$$

VIII.4.3.13. CALCULANDO LA TASA ESPECIFICA DE CRECIMIENTO DE BIOMASA

Se calcula para saber la velocidad a la cual se está regenerando la biomasa en el reactor la cual tiene una reproducción de tipo fisión binaria la cual permite predecir y estimar muy acertadamente la biomasa en un lapso de tiempo específico.

$$\frac{\frac{\Delta xv}{vol}}{X_{va}} = \mu$$

$$\frac{\frac{1.5634 \text{ mg/seg}}{56 \text{ L}}}{30 \text{ mg/L}} = \mu$$

$$\mu = 0.00093059 \text{seg}$$

VIII.4.3.14. CALCULANDO TIEMPO DE RETENCION CELULAR

“Ruta de asimilación del carbono en un reactor en lote”

En donde la inversa nos dará el tiempo que tarda el sustrato en ser consumido por cada mol de sustrato, corresponde al tiempo en el cual la biomasa está transformando u oxidando la materia orgánica o sustrato de unidades poliméricas a monoméricas por el rompimiento de sus estructuras por enlaces y que es distinto al tiempo de retención hidráulico (trh) y que corresponde a la segunda fase de mi curva de crecimiento microbiano de mi población.

$$\frac{1}{\mu} =$$

$$\frac{1}{0.00093059} =$$

$$\frac{1}{\mu} = 1074.5810 \text{ seg} \approx 18 \text{ min}$$

VIII.4.3.15. CALCULO DE SINTESIS DE SOLIDOS DENTRO DEL REACTOR

$$Xva = \text{SST finales}$$

$$Xva = 30 \text{ mg/l}$$

VIII.4.3.16. CALCULO DE LA TASA ESPECÍFICA DE CONSUMO DE SUSTRATO

Ya que se consume continuamente sustrato (materia Orgánica) para sustentar el metabolismo celular y el metabolismo energético, la concentración de dicha materia orgánica irá disminuyendo y una vez que se haya consumido la materia orgánica, los microorganismos entran en la fase de respiración endógena. Por eso es importante realizar el cálculo de consumo de sustrato.

Para DBO

$$q = \frac{\text{DBO}_{\text{inicial}} - \text{DBO}_{\text{final}}}{Xva - \text{trh}} =$$

$$q = \frac{60.06 - 54.45}{30 - 18} =$$

“Ruta de asimilación del carbono en un reactor en lote”

$$q = 0.4675 \text{ min}^{-1}$$

PARA DQO

Al obtener estos resultados podemos decir que si hay una tasa de duplicación celular o incremento de biomasa, debe existir la contraparte o tasa de consumo de sustrato.

$$q = \frac{\text{DQO}_{\text{inicial}} - \text{DQO}_{\text{final}}}{X_{\text{va}} - \text{trh}}$$

$$q = \frac{121.4 - 115.4}{30 - 18}$$

$$q = 0.5 \text{ min}^{-1}$$

VIII.4.4. CALCULO DE EFICIENCIA

El cálculo de la eficiencia nos sirve para saber que tan factible es el reactor, de acuerdo al porcentaje del resultado de inicio de operación como al final. El cálculo puede hacerse para todos los parámetros o solo los significativos. Dicha Eficiencia corresponde a la eliminación de sólidos flotantes en el influente tanto biomasa, coloides, compuestos inorgánicos y sólidos disueltos.

Para los sólidos suspendidos totales

$$\eta = \frac{\text{SST}_{\text{inicial}} - \text{SST}_{\text{final}}}{\text{SST}_{\text{inicial}}} * 100 =$$

$$\eta = \frac{86.7 - 30}{86.7} * 100 = 65.39\%$$

Para la DQO la eficiencia nos demuestra la eliminación de compuestos inorgánicos y orgánicos.

“Ruta de asimilación del carbono en un reactor en lote”

$$\eta = \frac{\text{DQO inicial} - \text{DQO final}}{\text{DQO inicial}} * 100 =$$

$$\eta = \frac{121.4 - 115.4}{121.4} * 100 = 4.989\%$$

Para la DBO la eficiencia nos demuestra la eliminación de los compuestos exclusivamente orgánicos.

$$\eta = \frac{\text{DBO inicial} - \text{DBO final}}{\text{DBO inicial}} * 100 =$$

$$\eta = \frac{60.06 - 54.45}{60.06} * 100 = 9.3406\%$$

IX. ANALISIS DE RESULTADOS

La caracterización de agua que se realiza al inicio de la puesta en marcha del reactor para indicarnos las condiciones iniciales a las que se encuentra el agua problema (agua proveniente del lago de San Juan de Aragón), al revisar los resultados arrojados por la caracterización se ve en la necesidad de llevar el agua a un proceso de tratamiento de aguas, debido a que la concentración de sólidos totales, sólidos suspendidos, demanda química de oxígeno y la demanda bioquímica de oxígeno, están por arriba de los niveles máximos permisibles que establecen la norma. El reactor cuenta con tres tanques en los que se da una aireación a presión inversa por lo que actúa como difusión y recirculación, esto ayuda al proceso a ser más económico de los reactores aerobios comunes así facilitando el consumo de sustrato por lo que el proceso se puede acelerar en su gran mayoría. Los diferentes parámetros que se monitorearon a lo largo de la operación del reactor nos muestra como se fue comportando el reactor además de que nos muestra los parámetros que van cambiando con respecto al tiempo y cantidad de sustrato.

“Ruta de asimilación del carbono en un reactor en lote”

El pH no afecta la actividad enzimática directamente sino que modifica la concentración de protones. Los protones además de alterar la estructura de la enzima y el sustrato, también participan en la reacción como sustrato o producto. En esos casos, la concentración de protones afecta directamente la velocidad de la reacción. Cualquier cambio brusco de pH, sabiendo que las enzimas son proteínas, puede alterar el carácter en la superficie proteica, afectando así las propiedades catalíticas de una enzima. A pH alto o bajo se puede producir la desnaturalización de la enzima y en consecuencia su inactivación. El sustrato puede verse afectado por las variaciones del pH. La relación pH – actividad enzimática, constituye un factor de regulación intracelular de la actividad enzimática. Un aumento en la temperatura provoca un aumento de la velocidad de reacción hasta cierta temperatura óptima, ya que después de aproximadamente 45 °C se comienza a producir la desnaturalización térmica. Cuando mayor es la temperatura, mayor es la velocidad de reacción. La velocidad de reacción aumenta debido a que hay más moléculas con la energía suficiente para entrar en el estado de transición. Las velocidades de las reacciones catalizadas por enzimas aumentan también al incrementarse la temperatura. El reactor alcanzo un máximo de temperatura de 19.8 que fue la temperatura optima de nuestro reactor además cabe señalar que el reactor se monitoreo en temperaturas bajas y fue incrementando. A bajas temperaturas, las reacciones disminuyen mucho o se detienen, pero la acción catalítica reaparece cuando la temperatura se eleva a valores normales.

Es importante brindar las condiciones ambientales idóneas a los microorganismos, para asegurar su crecimiento, y en periodos de tiempo, asegurar su reproducción. El periodo de reproducción, depende de su velocidad de crecimiento, el cual está relacionado directamente con la velocidad a la cual los microorganismos pueden metabolizar los residuos. Asumiendo que las condiciones ambientales son controladas, la adecuada estabilización del residuo puede ser asegurada manipulando la velocidad de crecimiento.

Los microorganismos tienen una fase endógena que se ve reflejada al metabolizar su propio protoplasma sin reposición del mismo, la reposición de alimento disponible se

“Ruta de asimilación del carbono en un reactor en lote”

encuentra en un mínimo, se presenta el fenómeno de lisis (células muertas) se difunden en el medio para constituirse en alimento para las células vivas existentes.

Así mismo al calcular los parámetros biocinéticos en donde se observa la relación sustrato y biomasa, que a lo largo del metabolismo celular y del metabolismo energético, se estuvieron monitoreando, dando como resultado algunas características peculiares.

Al obtener una eficiencia de remoción muy baja se observó que el consumo de sustrato fue más alto que el consumo de la biomasa, por lo que al obtener el consumo de oxígeno es más alto ya que el comportamiento del reactor asimila más la carga de carbono-oxígeno.

Tomando en cuenta los datos obtenidos y comparando con datos teóricos de Tchobanoglous (2001) para procesos aerobios por lodos activados, tenemos que la relación A/M (Alimento/microorganismos) no correspondió con ninguno de los ejemplos proporcionados por el autor debido principalmente a que el tiempo de retención hidráulico (trh) fue muy corto (0.3 horas) y si consideramos que los trh que establecen dichos procesos son del orden de 3 a 50 horas.

Con respecto al tiempo de retención celular (trc) este se cuantificó un valor de 1074.5810 seg o 18 min y que al compararse con algún proceso aerobio, coincide con un proceso de aireación extendida o zanjonés de oxidación los cuales se caracterizan por ser procesos que requieren poca aireación pero se ve limitado enormemente su eficiencia de remoción de materia orgánica dado esta limitación de requerir menor cantidad de energía incrementa su tiempo para degradar adecuadamente la materia orgánica. Es importante saber que la caracterización del agua que se trató con este reactor no se puede comparar con los datos obtenidos del reactor de Behling debido a que dicho reactor tiene más carga orgánica y metales a nivel industrial.

X.CONCLUSIONES

- Si tomamos en cuenta que al obtener la temperatura constante y el nivel de la degradación de la materia orgánica aumente, se considera un nivel optimo para el crecimiento bacteriano.
- Al observar que el consumo de sustrato fue continuo y que la eficiencia de la relación DBO y DQO se encuentra con una diferencia del casi 50%, se puede determinar que el reactor opera de forma eficiente en este parametro.
- Los sólidos suspendidos totales se redujeron con la relación en presión inversa.
- Cada una de las condiciones operacionales se mantuvieron estables por más de 1 mes en cada caso. Se realizo el monitoreo de las aguas, a la entrada del proceso, durante el proceso y la salida del proceso, con una frecuencia diaria.
- Al obtener la eficiencia neta del reactor se observa que no es la más optima, sin embargo se adquirieron los parámetros biocinéticos, con los que se determinaron otros beneficios, como el consumo de carbono-oxigeno; en el que se observa que el consumo de kilogramos de oxigeno es mayor a los observados en bibliografía.
- La producción de biomasa es considerable con respecto a la cantidad de agua tratada, además de que el rendimiento es bajo, la eficiencia se puede contemplar como baja aunque la remoción de sólidos se efectuó en base al comportamiento de los microorganismos y sea mayor.
- Tomando en cuenta que el proceso conlleva una presión inversa y que favorece al reactor, ya que nos permite una recirculación en el reactor obteniendo así una precipitación de los sólidos suspendidos.
- Al tener una presión inversa se airea el agua y se logra la sedimentación de sólidos suspendidos en la muestra. Este es un factor que favorece al reactor.

XII.BIBLIOGRAFÍA

- **“TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES” R.S. RAMALHO *Faculty and Science and engineering, Laval University. 1996.***
- **“REACTORES BIOLÓGICOS” Clementina, *Revista Científica, 1992.***
- ***Robert A. Corbitt, Manual de referencia de la Ingeniería Ambiental. Mc Graw Hill, año 2003.***
- ***R. Crites, G. Tchobanoglous. Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones. Mc Graw Hill, año 2000.***
- ***Metcalf y Eddy, Ingeniería de aguas residuales, tratamiento vertido y reutilización, Tomo 1, Editorial Mc Graw Hill 1996.***
- ***Winkler, Tratamiento biológico de aguas de desecho, editorial Limusa S.A. de C.V. Grupo Noriega Editores, año 2000.***
- ***Dirección de ingeniería sanitaria, secretaria de salubridad y asistencia; Manual de saneamiento, vivienda, agua y desechos, Editorial Limusa, Grupo Noriega Editores.***
- ***J. Glynn Henry, Gary Heinke; Ingeniería Ambiental; Editorial Pearson Prentice Hall; 1999.***
- ***American Water Works Association; Calidad y tratamiento del Agua, Manual de suministros agua comunitaria; Editorial Mc Graw Hill; 2002.***
- ***C. Ramos, M.C. Espinosa, M. López,. Departamento de Estudios sobre Contaminación Ambiental (DECA), del Centro Nacional de Investigaciones Científicas (CNIC) de Cuba. Ave. 25 y calle 158, Cubanacán, Playa, Ciudad de la Habana, Cuba.***
- ***Estudio de la sensibilidad global y estimación de parámetros en un reactor SBR, con nitrificación desnitrificación, utilizando el modelo ASM1, Luis Gómez Palacín, Alejandro Merino Gómez, César de Prada Moraga Dpto. De Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad de Valladolid, 47011, Valladolid.***

“Ruta de asimilación del carbono en un reactor en lote”

- ***Caracterización de la biomasa de un reactor anaerobio/aerobio con base en el análisis del perfil de los ácidos grasos, Wilder Rodríguez*, Gloria Moreno*, Luz Ma. López Marín** y Germán Buitrón* *Instituto de Ingeniería, Coordinación de Bioprocesos Ambientales. **Instituto de Investigaciones Biomédicas, Depto. De Inmunología. Universidad Nacional Autónoma de México. Apdo. Postal 70-472, 04510, México, D.F., México.***

ANEXOS

FOTOGRAFÍAS DEL REACTOR AL ARMARLO



El armado del reactor, fue sellado de manera cuidadosa para que se evitara tener fugas y posibles infiltraciones de otro lugar que no fueran las uniones.

“Ruta de asimilación del carbono en un reactor en lote”

Fotografías del reactor operando (pruebas con agua potable)



En esta etapa se reviso cada una de las conexiones, para que ala hora de operar con el agua problema no existieran fugas y se perdieran los valores a considerar.

FOTOGRAFIAS DEL MUESTREO



Fotografías en el punto de muestreo en el lago de San Juan de Aragón. Se llevó a cabo el muestreo del agua y extracción de agua para darle tratamiento de aguas.

FOTOGRAFÍAS DE LA CARACTERIZACION DEL AGUA



SOLIDOS SUSPENDIDOS



SOLIDOS VOLATILES



SOLIDOS SEDIMENTABLES

Las muestras se sometieron a diferentes exámenes para obtener los datos necesarios en el diseño de reactor y las condiciones iniciales del agua y así lograr un comparativo de los resultados.



DBO₅



DDO

“Ruta de asimilación del carbono en un reactor en lote”

Fotografías del reactor con el agua problema.



“Ruta de asimilación del carbono en un reactor en lote”

Figuras del reactor monitoreando los parámetros.



El reactor opero por un periodo de 50 días por lo que se realizo el monitoreo cada día para saber el comportamiento.