



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Villahermosa

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
DEPARTAMENTO DE DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E
INVESTIGACIÓN
MAESTRÍA EN INGENIERÍA

TESIS

REACTOR EXPERIMENTAL DE LECHO EMPACADO PARA EVALUAR
LA CONCHA DE OSTIÓN DE DESECHO

PRESENTA:

SHEILA KARINA LÓPEZ MARGALLI

DIRECTORA:

MIPA. MARÍA BERZABÉ VÁZQUEZ GONZÁLEZ

VILLAHERMOSA, TAB.

FEBRERO DE 2021



Carretera Villahermosa-Frontera Km. 3.5 Cd. Industrial C.P. 86010
Villahermosa, Tab. México Tel. 01 (993) 3530259, Ext. 101 e-mail:
dir_villahermosa@tecnm.mx
tecnm.mx | villahermosa.tecnm.mx





Instituto Tecnológico de Villahermosa

Villahermosa, Tabasco, 28/enero/2021

DEPARTAMENTO: División de Estudios de Posgrado e Investigación
NO. DE OFICIO: DEPI/003/2021
ASUNTO: AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

C. ING. SHEILA KARINA LÓPEZ MARGALLI
ESTUDIANTE DE LA MAESTRÍA EN INGENIERÍA

De acuerdo al fallo emitido por la comisión revisora integrada por los CC MIPA. MARÍA BERZABÉ VÁZQUEZ GONZÁLEZ, MIPA. NOEMÍ MÉNDEZ DE LOS SANTOS, MIPA. JOSÉ REYES OSORIO y MIPA.MARIO JOSÉ ROMELLÓN CERINO, y considerando que cubre todos los requisitos del Reglamento de Titulación en vigor, se da a usted la autorización para que proceda a imprimir su trabajo profesional titulado:

"Reactor experimental de lecho empacado para evaluar la concha de ostión de desecho"

Hago de su conocimiento lo anterior para los efectos y fines correspondientes.

A T E N T A M E N T E

Excelencia en Educación Tecnológica.
Tierra, Tiempo, Trabajo y Tecnología.



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE VILLAHERMOSA

DIVISIÓN DE
ESTUDIOS DE POSGRADO
E INVESTIGACIÓN

MTI.  SANTIAGO PÉREZ
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

c.c.p. Archivo

MT. José Luis Cáceres Javier - Coordinador de la Maestría
JLCJ/jlcj



Carretera Villahermosa-Frontera Km. 3.5 Cd. Industrial
C.P. 86010
Villahermosa, Tab. México Tel. 01 (993) 3530259, Ext.
101 e-mail: dir_villahermosa@tecnm.mx



“ Mas a Dios gracias, el cual nos lleva siempre en triunfo en Cristo Jesús, y por medio de nosotros manifiesta en todo lugar el olor de su conocimiento. ”

2 Corintios 2:14

DEDICATORIA

Dedico esta tesis con todo mi amor a mi padre celestial, pues me permite alcanzar mis metas como persona y como profesional, le agradezco por iluminar mi vida, por ser mi inspiración, mi esperanza y mi guía.

De igual forma, dedico mi trabajo a mis padres y les agradezco infinitamente por ser parte de mi vida, apoyarme en todo momento y cuidarme y educarme con amor, ustedes me han ayudado a salir adelante, soy bendecida de tenerlos a mi lado y contar con sus consejos y cariño incondicional.

A mis hermanas Katia y Zurisadahi, quienes siempre están junto a mí en las buenas y las malas, gracias por compartir conmigo tantas alegrías y celebrar mis triunfos.

Los llevo siempre en mi corazón y mi mente.

AGRADECIMIENTOS

Al Tecnológico Nacional De México por abrir sus puertas y dar la oportunidad a jóvenes de formarse profesionalmente.

A todos mis maestros; quienes me brindaron conocimientos y consejos a lo largo de esta etapa para ser un profesionista de calidad. Gracias a mi directora de tesis MIPA. María Berzabé Vázquez y co-directora MIPA. Noemí Méndez por su dedicación, guía y apoyo durante todo el trabajo de investigación.

A mi abuelos, tíos, primos y mis amigos; que directa o indirectamente, participaron en esta etapa de estudios, aportando conocimientos y recomendaciones, dando consejos y apoyando con su ánimo y con su grato afecto.

ÍNDICE

RESUMEN	1
ANTECEDENTES	2
PROBLEMÁTICA	5
JUSTIFICACIÓN	6
OBJETIVO GENERAL	8
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	8
FUNDAMENTO TEÓRICO	9
Carbonato de Calcio (CaCO_3)	9
Concha de los bivalvos	10
Sistemas de tratamiento de aguas con conchas de ostión	11
Reactor catalítico	12
Reactores de lecho compacto	12
Reactores de lecho fijo	13
Reactor de lecho empacado	13
Diseño de reactores de lecho fijo empacado	14
Medios de soporte para la degradación de contaminantes	17
METODOLOGÍA	19
Obtención de la materia prima	19
Tratamiento y transformación de las conchas de ostión	19
Evaluación de las propiedades de la materia prima	25
Cálculo Hidráulico	34
Diseño y construcción del reactor experimental de lecho empacado	37

RESULTADOS Y DISCUSIÓN	45
CONCLUSIONES	46
CRONOGRAMA	47
BIBLIOGRAFÍA	49
ANEXO I	52
ANEXO II	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	34
Tabla 2	34
Tabla 3	34
Tabla 4	35
Tabla 5	35
Tabla 6	35
Tabla 7	36
Tabla 8	36
Tabla 9	36
Tabla 10	37
Tabla 11	37
Tabla 12	44
Tabla 13	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de limpieza y modificación de las conchas de ostión.....	20
Figura 2. Lavado de conchas de ostión.....	21
Figura 3. Cepillado de las conchas de ostión.....	21
Figura 4. Triturado manual de las conchas de ostión.....	22
Figura 5. Colocación de concha de ostión trituradas en mallas de cribado 8, 12, 14 y 16	22
Figura 6. Cribado de las conchas de ostión.....	23
Figura 7. Selección y almacenamiento concha de ostión cribada con malla #8.....	23
Figura 8. Selección y almacenamiento concha de ostión cribada con malla #12.....	24
Figura 9. Muestra de 250 gramos de concha de ostión.....	25
Figura 10. Peso del contenedor.....	26
Figura 11. Peso inicial de la muestra.....	27
Figura 12. Peso del contenedor y de la muestra seca.....	27
Figura 13. pH inicial.....	28
Figura 14. pH final.....	29
Figura 15. Peso inicial.....	30
Figura 16. Peso muestra.....	31
Figura 17. Reacción al HCl.....	31
Figura 18. Centrifugado.....	32
Figura 19. Peso final.....	32
Figura 20. Muestra seca pulverizada.....	33
Figura 21. Sitio de instalación del reactor.....	40
Figura 22. Tubo de vidrio reforzado transparente de 3" de D.....	41
Figura 23. Malla electrosoldada con base triangular de perfiles de acero.....	41
Figura 24. Cimentación de hormigón de 80x80 cm.....	41

Figura 25. Construcción de un colado extra en la parte superior de la malla electrosoldada.....	42
Figura 26. Medio de soporte.....	42
Figura 27. Instalación final del reactor.....	43

RESUMEN

Las aguas residuales que no se gestionan adecuadamente pueden ocasionar serios problemas de contaminación cuando se vierten a cuerpos de agua, y cuando llegan a la fuente de abastecimiento, involucrarán a la salud pública, por lo que es necesario implementar tecnologías adecuadas para ayudar a tratar las aguas residuales.

En el presente proyecto se construyó un reactor experimental de lecho empacado, con el objetivo de evaluar la concha de ostión como material de medio de soporte para el tratamiento de aguas contaminadas, se tomaron residuos de ostiones, extraídos del local “El Chivero” del municipio de Paraíso, Tabasco, México. Estos residuos fueron utilizados como el material de empaque dentro del reactor experimental de lecho empacado, debido a su origen biológico y su alta eficiencia de filtración.

El tratamiento de los residuos de concha de ostión fue un proceso hecho durante 11 semanas, primeramente, se sometieron a lavado y después a la transformación de su estructura original por medio de trituración, finalmente obteniendo partículas de conchas de ostión de cribado con malla número 8 y número 12. En los análisis fisicoquímicos de la concha de ostión se evaluaron los parámetros de humedad, densidad, pH y solubilidad en ácidos. Las partículas de concha presentaron valores promedio en humedad (2.27 %), pH (8.5), solubilidad (99 %) y densidad (2.69 g/ml). Los resultados obtenidos reflejaron que es recomendable utilizar como material de empaque los desechos de cáscaras de ostión para tratar aguas residuales.

Por otro lado, se diseñó y construyó un reactor experimental de lecho empacado con medidas de 210 cm. de altura, con un cilindro de cristal reforzado de 3 pulg. de diámetro. El reactor fue conectado a un sistema de circulación que lo alimentaba con agua de la toma municipal de forma constante, teniéndose un tiempo de retención hidráulica de 5.3 horas. El material de empaque se adaptó de manera positiva al reactor, desarrollándose una diversidad de microorganismos, generando así un sistema de biopelícula, obteniéndose con ello mejores resultados en la eficiencia de filtrado, ya que se retienen las burbujas de oxígeno, incrementando el tiempo de contacto.

ANTECEDENTES

Existen varios tipos de reactores aplicados en procesos biológicos. Para la remoción de los contaminantes en las aguas residuales municipales existen diversos procesos de tratamiento; los tratamientos biológicos se consideran los procesos más eficientes para la depuración de aguas residuales con alto contenido de materia orgánica. Según el estado de los microorganismos, existen dos alternativas de tratamiento, reactores con cultivos en suspensión y reactores con cultivos fijos. (Noguera, 2014)

En el país los procesos de tratamiento de aguas residuales municipales incluyen reactores enzimáticos, reactores anaerobios de flujo ascendente y otros. Debido a esto se ha impulsado la investigación para desarrollar y estudiar nuevos reactores para el tratamiento de aguas contaminadas, por lo que, constantemente se realizan estudios para aumentar la eficiencia de estos.

El uso de reactores de lecho empacado son una alternativa de tratamiento para las aguas residuales domésticas, gracias a sus ventajas en tiempo de retención, alta eficiencia de remoción, fácil operación y bajos costos (Corredor y Caicedo, 2005). La principal ventaja de un lecho empacado es la eficiencia de colección para rangos muy amplios de partículas. (Bendeck, 2010)

Los reactores de biopelícula son ampliamente utilizados en el tratamiento de aguas residuales, en este tipo de reactores el afluente a tratar se pone en contacto con la microbiota adherida, en forma de lama sobre toda la superficie del medio de soporte. El medio de soporte de la biopelícula puede ser fijo o en movimiento (Manrique, 2013). Siendo los reactores de lecho empacado de flujo ascendente un ejemplo de reactores de biopelícula con medio de soporte fijo. Cabe decir que, cuando el reactor cuenta con un medio, ya sea natural o sintético, que sirve de soporte para que se desarrolle la comunidad microbiana en forma de "lama" o película, también se dice que es un reactor de biomasa fija. (CONAPESCA, 2015)

Uno de los factores más importantes para el establecimiento de las biopelículas, es la naturaleza del medio de soporte, pues influyen de gran manera. Es por ello que en la práctica se debe elegir adecuadamente el medio de soporte y hacer pruebas preliminares con el mismo, incluso con aquellos recomendados por los fabricantes. (Manrique, 2013)

La adsorción es un proceso eficiente de fácil implementación y atractivo por sus ventajas adicionales de retención del contaminante sin fraccionamiento y posibilidad de reúso del material adsorbente (Villada, 2014). Sin embargo, los materiales adsorbentes tienden a ser de costosa adquisición, por lo que, ha llevado a la búsqueda de adsorbentes alternativos de amplia disponibilidad y mínimo precio, tales como los residuos de concha de ostión. El uso de los desechos de conchas de ostión para aplicaciones ambientales está captando nuevas líneas de investigación, debido principalmente a sus propiedades, a su abundancia y a su potencial aplicación en el control de la contaminación ambiental.

En algunos países, incluyendo México, se generan en gran medida grandes cantidades de desechos de conchas de ostión, lo que ofrece una fuente confiable para su utilización como un adsorbente de bajo costo para implementarse en el proceso de adsorción, puesto que, es una tecnología efectiva y de bajo costo si se utiliza el adsorbente adecuado, además de ser la técnica más utilizada y eficaz para el tratamiento de aguas residuales contaminadas por compuestos tóxicos, ya sean orgánicos o inorgánicos. Los residuos de conchas de ostión que contienen Carbonato de Calcio (CaCO_3) son una alternativa para la eliminación de los iones metálicos debido a sus propiedades adsorbedoras. (Ramón, 2018)

La precipitación biológica de Carbonato Cálcico (CaCO_3) se da mayoritariamente en forma de Calcita y Aragonito que son los polimorfos de Carbonato Cálcico más frecuentes en la concha de bivalvos. La concha de los bivalvos está constituida por dos valvas calcificadas. La porción calcificada (ostraco), que constituye la mayor parte de la concha, está constituida por cristales de Carbonato Cálcico. (Esteban, 2006)

Los moluscos como organismos filtradores tienden a acumular metales en sus tejidos. (Jiménez, 2012). En investigaciones anteriores se da a conocer que las ostras acumulan metales pesados, además se han usado componentes con Calcio en su fórmula química para la remoción de metales pesados.

Por ejemplo, se han desarrollado tratamientos biológicos conocidos como biofiltros, los cuales consisten en lechos empacados con un medio poroso a través del cual pasa el agua a ser depurada. Para este tratamiento es necesaria la recirculación del efluente o filtros en serie. En este sistema, el lecho tiene también un efecto filtrante y atrapa los sólidos suspendidos del agua, disminuyendo su turbidez. (Vargas, 2017)

Por otra parte, se realizaron cinéticas de remoción de Plomo utilizando Alginato de Calcio como agente de inmovilización, pues, cumple con las características físicas que proporcionan estabilidad al sistema y es ampliamente utilizado en la remoción de metales en solución acuosa. Los resultados demuestran que 0.1 g. de Alginato de Calcio al 3% es capaz de remover en una solución de 100 mg/L de metal a 25°C y pH 5 durante 24 h, un 23.6% de Plomo (II) utilizando un reactor en columna empacado. (Almaguer, 2011)

El presente proyecto emplea el uso de un adsorbente alternativo, es decir, un medio de soporte de origen biológico, de gran viabilidad, bajo costo y alta eficiencia de remoción, en un reactor experimental de lecho empacado, para la adsorción de contaminantes, tales como los metales pesados. Este proyecto beneficiará a las personas que padecen ineficiencia en su servicio de saneamiento al igual que reducirá el impacto ambiental que las aguas contaminadas producen en nuestro medio.

PROBLEMÁTICA

El agua contaminada y el saneamiento deficiente están relacionados con la transmisión de enfermedades como el cólera, otras diarreas, la disentería, la hepatitis A, la fiebre tifoidea y la poliomielitis. Los servicios de agua y saneamiento inexistentes, insuficientes o gestionados de forma inapropiada exponen a la población a riesgos prevenibles para su salud (OMS, 2019). Por ello, se requiere implementar nuevas y/o mejoradas tecnologías para el tratamiento de aguas residuales urbanas, industriales y agrícolas, para que el agua que usan cientos de millones de personas no se vea peligrosamente contaminada o polucionada químicamente.

Siendo los reactores de lecho empacado una alternativa de creciente interés de desarrollo para optimizar resultados a escala real, de manera que se pueda garantizar su eficiencia y aplicabilidad en el tratamiento de aguas residuales domésticas. También, es necesario hacer hincapié en que uno de los factores más importantes para el establecimiento de un reactor, es la naturaleza del medio de soporte, por eso, se debe elegir adecuadamente y hacer pruebas preliminares con el mismo.

Por otro lado, las conchas de moluscos son comunes en las regiones costeras, la SAGARPA-CONAPESCA posiciona a México en el lugar número seis de los principales productores de ostión con el 1.1% del total de la producción mundial, esto conlleva a los altos volúmenes de desecho de su cáscara; clasificándolos como un residuo sólido urbano y/o un residuo de manejo especial, en la NOM-161-SEMARNAT-2011, se incluye a los residuos orgánicos de las actividades pesqueras, así como otros residuos orgánicos que generan una cantidad mayor a 10 toneladas al año.

Al hacer uso de los desechos de concha ostión como medio de soporte en un reactor de lecho empacado para el tratamiento de aguas residuales, se está mitigando a la vez, un problema de contaminación por residuos sólidos de manejo especial, ya que, las cifras de producción de ostión ascienden a decenas de toneladas anuales y, por lo tanto, se generan grandes cantidades de estos desechos.

JUSTIFICACIÓN

El agua es fundamental para la vida y todas las personas deben beneficiarse de un abastecimiento suficiente, seguro y accesible. La mejora del acceso al agua de consumo humano puede aportar beneficios notorios para la salud. Se debe hacer el máximo esfuerzo para lograr que el agua de consumo humano sea tan segura como sea posible.

El acceso a servicios de agua, saneamiento e higiene sin riesgos podría evitar que muchas personas sufran enfermedades. Se calcula que las enfermedades diarreicas causan alrededor del 3,6% del total de los años de vida ajustados en función de la discapacidad debidos a enfermedades y causan 1,5 millones de fallecimientos cada año (OMS, 2012). De acuerdo con las estimaciones, el 58% de esa carga de enfermedad (es decir, 842 000 muertes anuales) se debe a la ausencia de agua salubre y a un saneamiento y una higiene deficientes, e incluyen 361 000 fallecimientos de niños menores de 5 años, la mayor parte de ellos en países de ingresos bajos (OMS, 2014).

Las plantas potabilizadoras municipales mejoran la calidad del agua de las fuentes superficiales o subterráneas para adecuarlas al consumo humano. En 2017 se potabilizaron 100.1 m³/s en las 932 plantas en operación del país, solo en 3 plantas el proceso central de potabilización aplicado es la adsorción con el propósito de la eliminación de trazas de orgánicos.

Los residuos de conchas de ostión son un material aplicable para la eliminación de contaminantes en el proceso de adsorción debido a sus propiedades para degradar contaminantes de medios acuosos, pues contienen altas cantidades de Carbonato de Calcio, Óxido de Calcio e Hidróxido de Calcio; al proceder de una fuente biogénica de Carbonato Cálcico (CaCO₃) este material contiene un porcentaje mayor al 95% de CaCO₃, una pequeña cantidad de Dióxido de Silicio (SiO₂), proteínas y polisacáridos, por lo que, es factible la utilización de este desecho como un material natural para la

remoción y retención de contaminantes en aguas residuales de diferentes procesos. (Ramón, 2018)

Por otro lado, en el inventario nacional de plantas municipales de tratamiento de aguas residuales en operación, se registraron 52 plantas de tratamiento mediante el proceso de reactores enzimáticos, representando el 2.10% a nivel nacional; con una capacidad de tratamiento de 129.8 l/s, es decir, el 0.07% de la capacidad instalada del país; con respecto al caudal tratado, se trató 106.6 l/s, esto representó un 0.09% del total nacional (CONAGUA, 2015).

Durante el año 2017, las 2526 plantas en operación a lo largo del país trataron 135.6 m³/s. La presencia de reactores anaerobios de flujo ascendente es solo del 0.89% en los principales procesos de tratamiento de aguas residuales municipales del país. (CONAGUA, 2017) por ende, en los últimos años se han planteado nuevas propuestas de reactores para la inocuidad del agua, siendo el reactor de lecho empacado con medio de soporte de concha de ostión, una opción loable para la degradación de contaminantes en aguas residuales, puesto que es un medio poco explorado que presenta algunas ventajas sobre los sistemas de tratamiento convencional, ya que, es posible tratar aguas residuales de origen industrial o municipal.

OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir un reactor experimental de lecho empacado para evaluar el desecho de concha de ostión como medio de soporte.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Obtener la materia prima (concha de ostión) para su transformación y tratamiento.

Evaluar la concha de ostión como material de soporte en un reactor experimental de lecho empacado. (Densidad, solubilidad, pH, humedad.)

Diseñar y construir un reactor experimental de lecho empacado.

FUNDAMENTO TEÓRICO

El uso de desechos de conchas de ostión en tratamiento de agua, todavía se encuentra en una fase experimental. Hay ciertas investigaciones en desarrollo que notan el potencial de éste desecho con el fin de explorar alternativas que impliquen la reducción de desperdicios y la reutilización como materia prima para otros procesos, puesto que, es una especie de material inorgánico que se va acumulando en grandes cantidades luego de su consumo alimenticio y el desecho de la concha de ostión puede tener varios usos debido a su versatilidad, ya que, se compone de Carbonato de Calcio (CaCO_3) y, de someterlo a un tratamiento de calor, se puede obtener Óxido de Calcio e Hidróxido de Calcio.

Carbonato de Calcio (CaCO_3)

Conocido también como calcita, carbonato cálcico o creta, por lo general el polvo se obtiene por molienda fina o micronización de calizas extremadamente puras (con aproximadamente 98,5% de CaCO_3). En inglés se conoce como GCC (Ground Calcium Carbonate), mientras que el Carbonato de Calcio artificial se conoce como PCC (Precipitated Calcium Carbonate).

Fórmula química: CaCO_3

Peso molecular: 100.09 g/mol

Compuesto por: 40.04 %Ca, 56.03 % CaO, 12.00 % C, 43.97 % CO_2

Dureza: 3

Tenacidad: Masivo – cristales uniformemente indistinguibles que forman masas grandes.

Propiedades ópticas (índice de refracción): Uniáxica negativa. Muy birrefringente.

Densidad: entre 2.71 g/cm³.

Exfoliación: Perfecta según las tres direcciones del romboedro.

Fractura: Conchoidal – fractura muy frágil produciendo fragmentos pequeño conchoidal.

Color: Descolorido, blanco, rosado, amarillo, marrón.

Raya: Blanco.

Transparencia: Transparente, translucido a opaco.

Brillo: Opaco, se disuelve en ácidos diluidos, incluyendo en aguas subterráneas acidas. (Garcés, 2014)

Concha de los bivalvos

La concha de los bivalvos está constituida por dos valvas calcificadas unidas dorsalmente por una zona flexible denominada ligamento. Las valvas presentan una fina cubierta externa de naturaleza orgánica denominada periostraco. La porción calcificada (ostraco), que constituye la mayor parte de la concha, está constituida por cristales de Carbonato Cálcico inmersos en una matriz de materia orgánica. Los cristales de Carbonato Cálcico están organizados en una serie limitada de estructuras, denominadas microestructuras, que aparecen de forma recurrente en bivalvos, y en el resto de moluscos.

La formación de la concha comienza con la segregación de una fina película de periostraco entre los pliegues medio y externo del borde del manto (surco periostracal). El preiostraco se une a la concha preexistente y sella la unión entre la concha y el borde del manto, de esta forma se crea un reducido espacio cerrado entre la concha y el borde del manto. (Esteban, 2006)

Sistemas de tratamiento de aguas con conchas de ostión

Se toma en cuenta un experimento donde usaron concha de ostión sometiéndola a través de trituraciones y moliendas para disminuir el tamaño de partícula y determinar si los polvos obtenidos provenientes de la concha absorbían algunos metales que puedan afectar estratos o mantos acuíferos susceptibles a la contaminación. Llegando a la conclusión de que el proceso de remoción de metales pesados en soluciones acuosas o afluentes por técnicas de adsorción utilizando nanopartículas de CaCO_3 obtenidas de la molienda de desechos de conchas de ostión es más útil y eficiente. Según lo refirió la investigadora de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), Dra. Laura Lorena Díaz Flores.

Por otro lado, en un estudio del tratamiento de aguas residuales municipales con conchas de ostión como medio de filtro aireado biológico hecho por los investigadores Yao-Xing Liu, Tong Ou Yang, Dong-Xing Yuan y Xiao-Yun Wu, los resultados indicaron que la concha de ostión y una bola de plástico que se aplicaron como medio de filtros aireados biológicos (BAF) para tratar las aguas residuales municipales tuvieron retiros de demanda química promedio de oxígeno (DQO) de 85.1% y 80.0%, cuando el tiempo de retención hidráulica (TRH) fue mayor a 4 h, y 65.7% y 68% con TRH de 2 h, respectivamente.

En cuanto a la eliminación del Nitrógeno Amoniacal ($\text{NH}_3\text{-N}$), la concha de ostión y la bola plástica, tuvieron una eliminación promedio de 98.1% y 93.7% para TRH mayor a 4 h, y 47.2% y 65.1% para TRH de 2 h, respectivamente. Las extracciones totales de Fósforo (TP) de la concha de ostión, se incrementaron a 79.9% y 90.6% a medida que el pH aumentó a 9 y 10, respectivamente, mientras que no se observó mejoría para la bola de plástico. El pH del efluente de la concha de ostión fue mayor y se amortiguó en comparación con el del influente, principalmente debido al CaCO_3 liberado de la concha. La concha de ostión también puede ser la razón principal de soporte para que el BAF tenga mayor eficiencia de remoción de $\text{NH}_3\text{-N}$ cuando el TRH fue superior a 4 h, en comparación con la bola de plástico.

Reactor catalítico

El reactor catalítico es el aparato donde una reacción química catalítica tiene lugar de manera controlada. La catálisis es el proceso por el cual se aumenta la velocidad de una reacción química, debido a la participación de una sustancia llamada catalizador. Un catalizador es una sustancia que aumenta la velocidad de una reacción química sin intervenir permanentemente en la reacción, dicha sustancia puede ser de tipo líquida, gaseosa o sólida, de compuestos orgánicos, inorgánicos o de combinaciones complejas. Estos son conceptos necesarios para comprender el diseño y el funcionamiento de este tipo de reactores.

El objetivo del reactor catalítico es poner en contacto catalizador y reactantes para que la reacción progrese de forma idónea en el proceso químico que lo incorpora. El catalizador puede estar en la misma fase que los reactantes, o no. Este hecho permite organizar la catálisis en homogénea, heterogénea y enzimática. En consecuencia, los reactores catalíticos se clasifican en homogéneos, heterogéneos y enzimáticos.

La situación más común es la catálisis por sólidos: los reactantes y productos forman parte de una corriente líquida o gaseosa, y el catalizador un sólido. Los reactores donde estas reacciones tienen lugar se agrupan en:

Reactores de dos fases: 1 fase fluida (líquida o gaseosa) y 1 sólida (el catalizador).

Reactores de tres fases: 1 fase líquida, 1 gaseosa y 1 sólida (el catalizador).
(Iborra y col.,2013)

Reactores de lecho compacto

Estos reactores se pueden describir como un tanque (reactor), en cuyo interior se introduce un medio que sirve de sostén a los microorganismos, el agua a tratar se introduce por la parte inferior por algún sistema, según el caso, el oxígeno por lo regular se introduce directamente en el agua a tratar.

Las poblaciones de microorganismos presentes en el reactor, van cambiando a lo largo de la operación, influidos por las condiciones de ésta, adaptándose en conjunto

para sobrevivir y prosperar en el medio en donde están, lo que se refleja en una mayor eficiencia de tratamiento, se llega a tratar efluentes más cargados con filtros profundos y bien adaptados para el tipo de residuo en particular, inclusive, la carga orgánica puede incluir múltiples hidrocarburos lineales, fenoles, formaldehído, compuestos poli cíclicos, entre otros. (COA, 2016)

Reactores de lecho fijo

Los reactores de lecho fijo (RLF) consisten en uno o más tubos empacados con partículas de catalizador, que operan en posición vertical. Las partículas catalíticas pueden variar de tamaño y forma: granulares, cilíndricas esféricas, enzimas, etc.

Un lecho fijo, está constituido por un relleno compacto e inmóvil de un catalizador (en el caso de reactores catalíticos) ubicado en el interior de un recipiente, generalmente vertical. Los RLF poseen sencillez en relación a la construcción, particularmente en cuanto a sus características mecánicas por la ausencia de elementos móviles. Los reactores de lecho fijo son el tipo de reactor más utilizado, principalmente como reactores catalíticos, con catalizadores sólidos granulares convencionales.

Los reactores de lecho fijo empacado o de relleno se refieren a sistemas de dos fases en los que el fluido reaccionante fluye a través de uno o más tubos empacados con partículas o gránulos catalíticos estacionarios que se operan en posición vertical. Los lechos rellenos son dispositivos de permanente aplicación en la industria de procesos, particularmente como reactores de lecho fijo, con catalizadores sólidos granulares convencionales. (Asensio, 2017)

Reactor de lecho empacado

Un lecho empacado presenta la ventaja de que no requiere la separación del catalizador como en el caso de las reacciones catalíticas homogéneas. En un reactor empacado, los gránulos de catalizador se acomodan de manera que llenan una cámara de reacción. La cámara de reacción puede ser en el interior de un tubo, o la sección anular entre dos concéntricos o la chaqueta de un reactor con una configuración similar a un intercambiador de calor. Aunque en muchos casos sea conveniente para su

fabricación, el reactor no forzosamente tiene una configuración cilíndrica. Además, un reactor de lecho fijo puede no estar “empacado” con catalizador; por ejemplo, la pared interna del tubo podría ser catalítica, o bien, el interior del tubo tener colocadas transversales al flujo una o varias mallas de alambres hechas de algún metal catalítico. Más aun, el catalizador puede o no ser poroso.

Por conveniencia o costumbre, al representar un reactor empacado normalmente lo dibujamos horizontal. Sin embargo, un reactor cilíndrico empacado debe colocarse verticalmente. Una posición horizontal ocasionaría espacios vacíos en la parte superior del reactor. Además, notemos que es preferible introducir la alimentación en la parte superior para que tanto el flujo como la gravedad empujen hacia abajo el catalizador y permanezca completamente fijo. La oxigenación generalmente se realiza en el exterior del lecho, a través del medio de cultivo. (Iborra, Tejero y Cunill, 2013)

Diseño de reactores de lecho fijo empacado

Galiasso, Riviere y Verruschi (2010) diseñaron un Prototipo de un Reactor en frío para el estudio fluido dinámico de empaques catalíticos estructurados en lecho fijo. Dicho modelo permite operar con diferentes tipos de empaques (estructurados o no) y diferentes fluidos. El prototipo permite la prueba de nuevos tipos de empaques y la caracterización en cuanto a la geometría, disposición y la selección de los existentes, además que, cumple con las normas diseño y de seguridad.

El diseño del reactor se basa en lo siguiente:

1. Ingeniería conceptual: en primer término, la visualización, en donde se toman bases de diseño en función a las reacciones llevadas a cabo, las condiciones y modos de operación, los parámetros a medir y los procesos actuales en la industria. Y en segundo término la conceptualización, fase en la cual se presenta el diagrama de bloque para la zona de alimentación, reacción y productos, posteriormente se definen que equipos periféricos como tanques, bombas y tuberías permitirán la puesta en marcha del prototipo. Además de esto, se crean los protocolos experimentales de medición

localizando los puntos precisos para realizar dichas pruebas que serán controladas por la instrumentación respectiva.

2. Ingeniería básica, en esta fase se seleccionan los equipos periféricos y de control basados en los criterios de diseño y en el protocolo experimental. La parte central es el dimensionamiento del reactor, columna empacada de múltiples lechos, adoptando un diámetro que permite la instalación y remoción del empaque en forma rápida. Adicionalmente, se especifica la localización y los requerimientos de servicios para la instalación del equipo en el espacio disponible.

3. Ingeniería de detalle, en esta fase, el contacto con los proveedores permite revisar las especificaciones de los equipos basados en la disponibilidad y rango de operación para la escala seleccionada, y a su vez corregir los diagramas preliminares usando criterios de seguridad, flexibilidad de operación (posibles expansiones y otros usos futuros) y de identificación estándares (colores).

Cárdenas y Ramos (2009) Siguiendo criterios y parámetros de diseño de filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA) y con fundamento en el conocimiento de procesos biológicos de la remoción de materia orgánica, diseñaron y montaron a escala de laboratorio un modelo acorde con el régimen de flujo previsto, el tipo y características del desecho a tratar y las condiciones físicas del medio bacteriano. Dicho modelo consta de cuatro reactores cilíndricos, cada uno con un volumen total de 6,6 litros y un volumen útil de 5,2 litros.

El sistema funciona por gravedad y en paralelo, con una cabeza hidráulica de 1,6 m. desde la salida del tanque de carga hasta la entrada de cada reactor por su parte inferior. Con el objeto de regular la presión de salida a diferente nivel de vaciado del tanque de carga, adaptaron un dispositivo de cabeza constante (regulado por un flotador), con el cual se logró conseguir un caudal de 0,2 L/h y un tiempo de retención hidráulica (TRH) de 26 horas.

Para la selección de los medios de contacto de los reactores, se realizó un estudio previo donde se evaluaron algunos materiales, con base en criterios como: resistencia,

durabilidad, economía, área específica y dificultad de obstrucción. Los cuatro materiales seleccionados fueron: concha marina en el reactor 1, material sintético en el reactor 2, material vitrificado en el reactor 3 y grava de río en el reactor 4, con un área específica o área superficial total por unidad de volumen del material sólido de 1.210, 2.027, 446 y 189 m²/m³ respectivamente. La disposición de los medios de contacto se realizó de manera aleatoria.

Según Iborra, Tejero y Cunill (2013) para las consideraciones de diseño en primer lugar, es necesario elegir el dispositivo (tipo de reactor) según las propiedades del sistema y los costes de construcción, operación y mantenimiento. En segundo lugar, hay que proceder al diseño, el problema es encontrar la masa de catalizador mínima para alcanzar la conversión de reactante deseada con la selectividad requerida hacia el producto, y su posible distribución en dos o más etapas, dadas:

1. Unas condiciones del alimento a tratar (caudal, composición, presión y temperatura).
2. Un catalizador de naturaleza, dimensiones, estructura y propiedades.
3. Un diámetro de reactor o número y diámetro de tubos.

Debe determinarse también la longitud (L) y diámetro de cada etapa (D). Además de las herramientas habituales (cinética de la reacción, balances de materia y energía) han de considerarse aspectos como las características de las partículas y del lecho, interacciones fluido-partícula, así como aspectos inherentes a la naturaleza química de la reacción como la reversibilidad.

Características de las partículas y del lecho. Las propiedades de la partícula de catalizador incluyen la composición química, que determina básicamente su actividad catalítica, y propiedades físicas como tamaño, forma, densidad y porosidad, que determinan la difusión de reactantes y productos. Son básicas para estimar la velocidad de reacción en la partícula. En general, se usan partículas originadas por extrusión o

“pelletización”. Las más comunes son paralelepípedos, cilindros o esferas. En lechos fijos su tamaño es relativamente pequeño.

Medios de soporte para la degradación de contaminantes

Un soporte adecuado para la inmovilización de microorganismos con aplicación en el área ambiental debe proporcionar condiciones apropiadas para la supervivencia de las células y su funcionamiento como inóculo. Se requiere que el soporte no sea tóxico, ni contaminante y que tenga una calidad constante, para permitir una liberación precisa de los microorganismos en el sitio de interés y eventualmente se evite la dispersión de los microorganismos.

Las aplicaciones de microorganismos inmovilizados en la degradación de contaminantes se han enfocado principalmente a estudios desarrollados en medios acuosos, que han demostrado que el material usado como soporte puede crear microhábitats de protección (en la superficie o poros del soporte), y funcionar como una fuente temporal de sustratos específicos para los microorganismos introducidos. Otra ventaja que puede listarse es la facilidad del manejo de las células inmovilizadas, que permite minimizar los riesgos de contaminación durante el transporte, aplicación y almacenamiento. Los soportes de uso común son el alginato, el poliuretano y el agar, y en menor proporción el sol-gel. (Martínez y García, 2012)

Mendoza y Rodríguez (2016) implementaron botellas plásticas de PET (polietileno tereftalato) como medio de soporte para la producción de una biopelícula para el tratamiento de aguas residuales domésticas. Una ventaja clave de procesos utilizando biopelícula es la influencia positiva de superficies sólidas sobre las bacterias.

Noventa litros de lodo activado y agua residual fueron vertidos dentro del reactor para la inoculación, producción y fijación de la biomasa, y comenzar el proceso de adhesión y formación de biopelícula el cual se obtuvo después de tres semanas. Después de este tiempo se realizaron diversos estudios fisicoquímicos a la entrada y salida del sistema para determinar la eficiencia del sistema, incrementando gradualmente la concentración de contaminantes del agua residual. Los análisis diarios indicativos

arrojaron una remoción de entre el 70 y 85% en los primeros 25 días. Los medios de soporte sumergidos han demostrado ser altamente eficientes en la eliminación de DQO y DBO₅ en aguas residuales y los resultados de este estudio lo comprueban.

METODOLOGÍA

Obtención de la materia prima

Se usaron conchas de ostión como materia prima para el medio de soporte que se colocó en el reactor experimental de lecho empacado. La adquisición de las conchas de ostión fue auspiciada por un área de producción llamada “El Chivero” en el municipio de Paraíso del estado de Tabasco, obteniéndose una cantidad suficiente para desarrollar la investigación.

Tratamiento y transformación de las conchas de ostión

Las conchas de ostión pasaron a través de un proceso de limpieza y modificación de su estructura original, buscando lograr con ellas una mejor efectividad en su posterior uso como medio de soporte.

Primeramente, se limpiaron las conchas de ostión con un cepillado constante y agua potable como se muestra en la figura 2 y 3, para después dejarlas sumergidas en agua con Bicarbonato de Sodio hasta su trituración. La trituración de las conchas se hizo por medio de herramientas como el martillo mostrado en la figura 4, seguidamente se sometieron a un molino manual. Posteriormente, se cribaron las conchas previamente molidas utilizando diversas mallas con la finalidad de separar las partículas hasta que se decidió la granulometría adecuada, esto se representa en las figuras 5 y 6. Finalmente, se almacenaron en contenedores las partículas resultantes del cribado como se ve en las figuras 7 y 8. El diagrama de flujo del proceso se muestra en el figura 1.

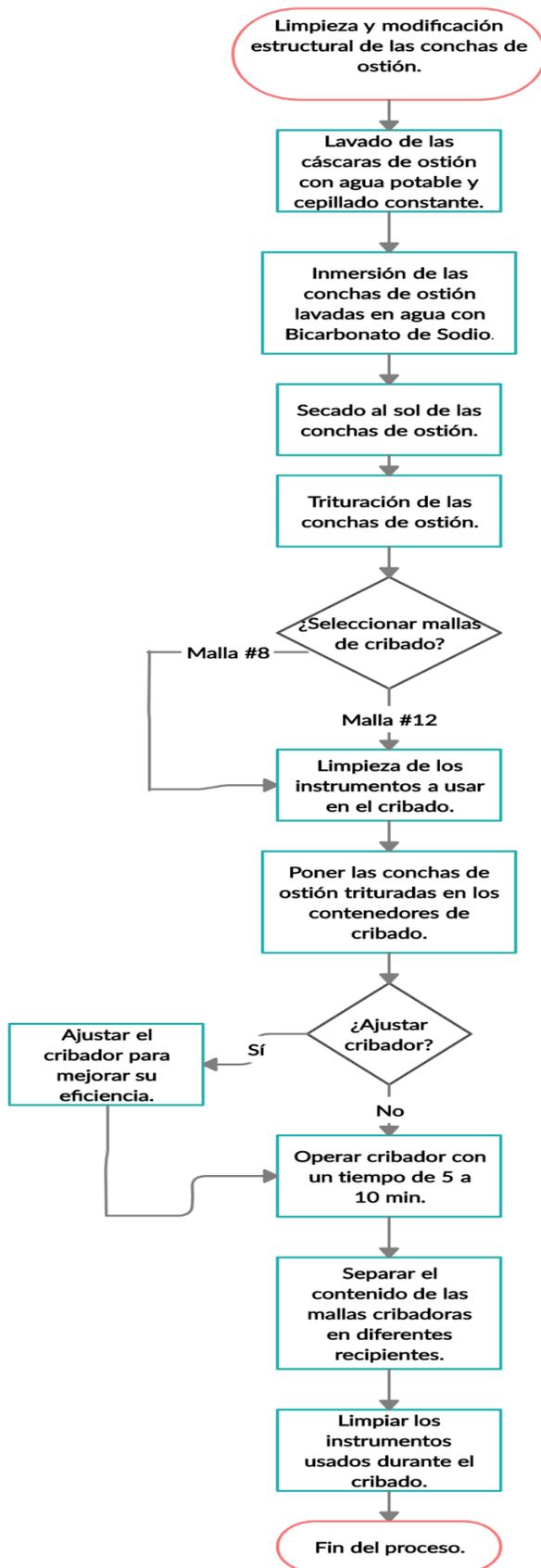


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de limpieza y modificación de las conchas de ostión

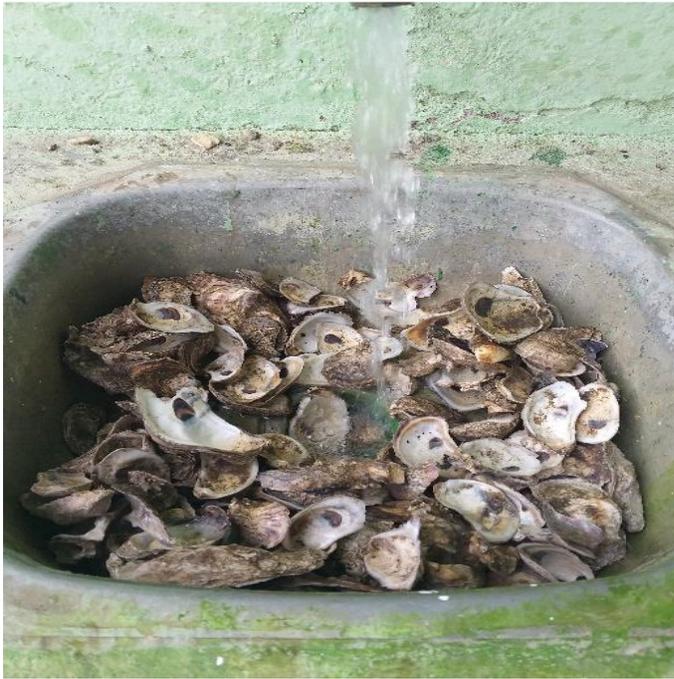


Figura 2. Lavado de conchas de ostión



Figura 3. Cepillado de las conchas de ostión



Figura 4. Triturado manual de las conchas de ostión



Figura 5. Colocación de concha de ostión trituradas en mallas de cribado 8, 12, 14 y 16



Figura 6. Cribado de las conchas de ostión



Figura 7. Selección y almacenamiento concha de ostión cribada con malla #8



Figura 8. Selección y almacenamiento concha de ostión cribada con malla #12

Evaluación de las propiedades de la materia prima

Se evaluó la capacidad de las conchas de ostión como medio de soporte. Los parámetros que se evaluaron fueron humedad, pH, solubilidad y densidad en muestras de conchas de ostión de 250 gramos, mostrándose una de las muestras en la figura 9.



Figura 9. Muestra de 250 gramos de concha de ostión

Determinación de humedad

La humedad es una variable física definida formalmente como la cantidad de agua absorbida en un sólido. Consiste en medir la masa del sólido a prueba en una balanza, y calentarlo luego en un horno cerrado. Se saca el sólido, se le mide otra vez la masa en la balanza, se resta esa medida a la inicial para deducir la masa de agua desprendida, y se calcula la humedad que corresponda. Muestras de 250 g. de concha de ostión se colocaron en la estufa a secar la muestra a 220°F hasta obtener masa constante. Posteriormente, retornando a pesar para determinar la masa final y así poder determinar el peso perdido. En la figura 11, se puede apreciar un peso inicial de 10.006 g., mientras que el peso contenedor fue de 169.417 g., como se muestra en la figura 10. El peso final

fue de 179.195 g., como se indica en la figura 12, ya que, el peso seco fue de 9.778 g., dando como resultado un porcentaje de humedad de 2.278.

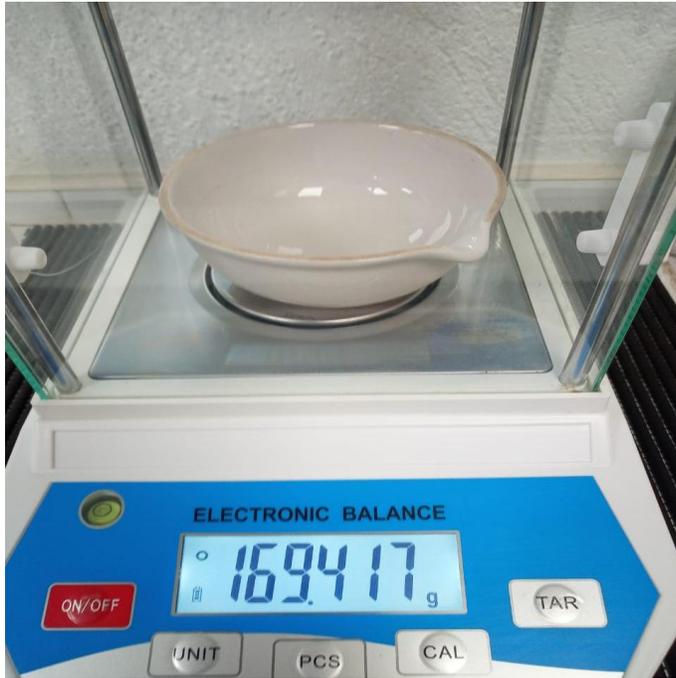


Figura 10. Peso del contenedor



Figura 11. Peso inicial de la muestra



Figura 12. Peso del contenedor y de la muestra seca

Determinación de pH.

La escala de pH mide el grado de acidez de un objeto. Se llena un vaso graduado donde se puedan medir volúmenes líquidos con un cierto volumen de agua arbitrario y a continuación se sumerge completamente en el líquido el objeto sólido y se determina el pH en el potenciómetro. Para este proceso se tomaron muestras secas y se procedió a pulverizar hasta obtener partículas de una malla 100. Se empleó un 0.1g de muestra y se adicióno a 100 ml. de agua destilada, se agitó por 10 minutos y se determinó el efecto en el pH del agua destilada. Teniendo a primera instancia un pH inicial de 7.26 como se muestra en la figura 13 y obteniéndose un pH final de 8.56, tal cual se indica en la figura 14.

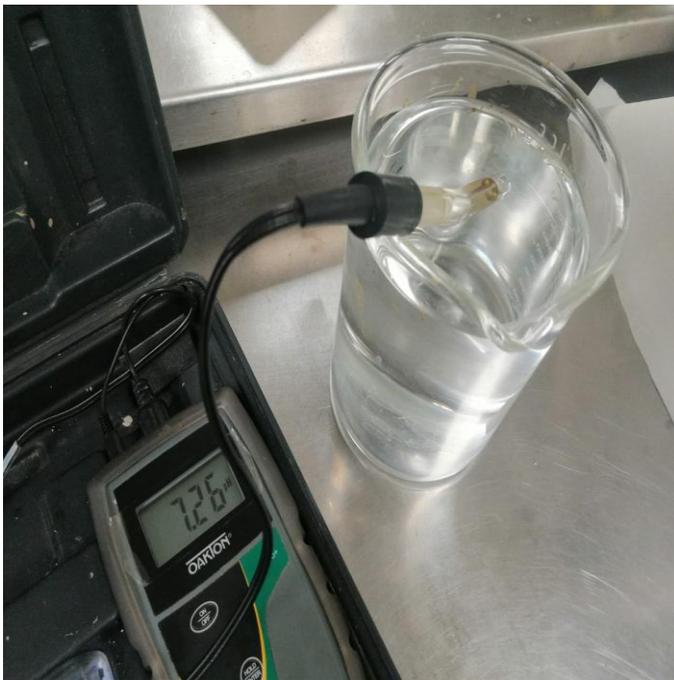


Figura 13. pH inicial



Figura 14. pH final

Determinación de solubilidad

La solubilidad es la capacidad de una sustancia de disolverse en otra llamada disolvente. El reactivo empleado en forma rutinaria para estas pruebas fue ácido clorhídrico y se utilizó 1 g. de concha seca pulverizada pasada por malla 100.

Empleando un matraz Erlenmeyer con capacidad de 150 ml. se colocó la cantidad de 1 g. de muestra, posterior a esto se ubicó el matraz en un agitador magnético, adicionando 25 ml. de HCl 1.5 N, como se puede ver en la figura 17, después se colocó una barra magnética, aplicando agitación suave por 10 minutos. Pasado el tiempo, se recuperó la barra magnética, para lavarla con agua destilada antes de extraerla por completo del matraz. Luego, se vació la muestra a una perilla previamente pesada y se recuperó el 100% de la muestra.

Después, se colocó la perilla en una centrifuga tipo robinson y se agitó por 5 minutos, mostrado en la figura 18. Finalmente, se eliminó el líquido cuidadosamente y se procedió a llenar con agua destilada, agitando por otros 5 minutos y tras eliminar la parte líquida, se colocó la perilla a secar por 2 h. a 220 °C.

Masa inicial: 1.0 g. (figura 16)

Peso de la perilla: 59.71 g. (figura 15)

Peso de la perilla con muestra seca: 59.72 g. (figura 19)

% de solubilidad en HCl 1.5 N: $(1.00\text{g} - 0.01\text{g}/1.000\text{g}) * 100 = 99$



Figura 15. Peso inicial



Figura 16. Peso muestra

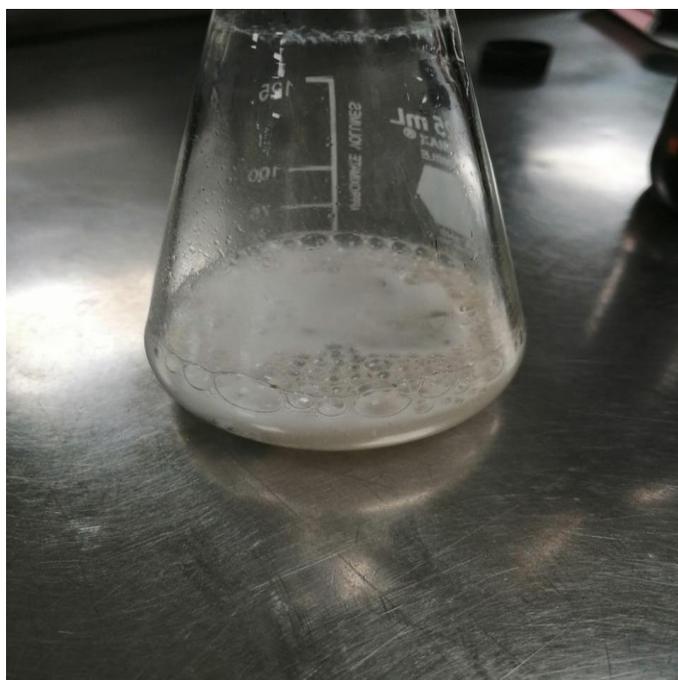


Figura 17. Reacción al HCl



Figura 18. Centrifugado



Figura 19. Peso final

Densidad

Para medir la densidad de un cuerpo es necesario conocer su masa y su volumen. Si el cuerpo es irregular, no podemos calcular su volumen de forma directa. Pero podemos calcularlo indirectamente aplicando el principio de Arquímedes. Se usó 1.0 g de muestra seca pulverizada, como aparece en la figura 20, para agregar a 10 ml. de agua destilada en una probeta de 25 ml. Finalmente, se determina la densidad por medio de volumen desplazado en la probeta.

Volumen inicial: 10.00 ml.

Volumen final: 10.37 ml.

Densidad: $1.00\text{g} / 0.37\text{ml}$: 2.69 g/ml.



Figura 20. Muestra seca pulverizada

Cálculo Hidráulico

Tabla 1

Volumen tanque alimentador

Volumen tanque alimentador	450	l.
	0.45	m ³

Tabla 2

Conversión de l. a m³ del volumen del tanque alimentador

Conversión l. a m³			
1000	l.	1	m ³
450	l.	0.45	m ³

Tabla 3

Diámetro del reactor

Diámetro del reactor	3	Pulg.
	0.0762	m.

Tabla 4

Conversión de in a m. del diámetro del reactor

Conversión in a m.			
1	in	2.54	cm
3	in	7.62	cm

Tabla 5

Conversión de cm. a m. del diámetro del reactor

Conversión cm. a m.			
100	cm	1	m
7.62	cm	0.0762	m

Tabla 6

Altura y área de la base del reactor

Altura del reactor	2.1	m.
Área de la base del reactor	0.00456	m ²

Tabla 7

Volumen del reactor

Volumen del reactor	(Área)(Altura)	0.00957679	m ³
		9.6	l.

Tabla 8

Conversión de m³ a l. del volumen del reactor

Conversión m³ a l.			
1000	l.	1	m ³
9.6	l.	0.00958	m ³

Tabla 9

Altura del medio de soporte al 70%

Altura del medio de soporte 70%h		1.47	m.
---	--	------	----

Tabla 10

Tiempo de retención hidráulica

V	9.57679375	l.		
Q	30	ml/min	= 1.799964	l/h
TRH	V/Q	5.320547381	horas	

Diseño y construcción del reactor experimental de lecho empacado

Para el diseño del reactor experimental de lecho empacado, se consideró la ubicación de la instalación para el experimento, así como la disponibilidad de la mano de obra y el tiempo de construcción, figura 21; otros factores importantes a prever son el tamaño del prototipo como se muestra en el anexo y los materiales necesarios para su construcción, los cuales son mencionados en la tabla 11.

Tabla 11

Lista de materiales y precios unitarios

MATERIALES		UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
Base metálica para el reactor de 38x35x35 cm.		Pieza	1	\$1,000.0	\$1,000.0
Cilindro de cristal de 3" de diámetro		Pieza	1	\$3,115.0	\$3,115.0
Tinaco de agua		Pieza	1	\$1,500.0	\$1,500.0

Tee hid. de 1/2" PVC		Pieza	4	\$8.0	\$32.0
Codo de 90° PVC		Pieza	6	\$7.0	\$42.0
Conector rosca exterior o conector macho 1/2" PVC		Pieza	7	\$8.0	\$56.0
Reductor de bronce 1/2"		Pieza	1	\$15.0	\$15.0
Válvula de esfera de 1/2"		Pieza	2	\$60.0	\$120.0
Coples		Pieza	5	\$6.0	\$30.0
Tapón con rosca de 1/2" PVC		Pieza	2	\$18.0	\$36.0
Pegamento para PVC		l.	1	\$50.0	\$50.0

Cinta teflón 1/2"		Pieza	1	\$20.0	\$20.0
Lija para plomero		m.	1	\$25.0	\$25.0
Tubo CPVC		m.	9	\$70.0	\$630.0

En la instalación del reactor, se construyó una base de ladrillos y mortero, para fijar una base de acero de 38x35x35 cm, para luego ubicar las partes restantes correspondientes al reactor. La columna del lecho está conformada por una única sección, que se unió por accesorios a las tuberías, las cuales permiten una sujeción firme. El cuerpo principal, que es donde se introduce el material de empaque o medio de soporte (concha de ostión) como se muestra en la figura 26, es un tubo con las siguientes dimensiones: 3 pulg. de diámetro y 210 cm. de altura. El material del tubo es vidrio reforzado transparente, ya que se le atribuyen las ventajas de una fácil limpieza, al igual que permite la visualización del medio de soporte, este se muestra en la figura 22.

El equipo cuenta con un tanque, que sirve como contenedor de agua, este tiene una capacidad de 450 litros, sus dimensiones son: 905 mm de diámetro y 850 mm de altura. Para proporcionar mayor altura, el tanque se posicionó sobre una cimentación de hormigón de 80x80 cm. mostrada en la figura 24, donde se construyó una malla electrosoldada con un espesor de 15 cm y base triangular de perfiles de acero con medidas de 50 cm., oscilando una altura de 175 cm, que se muestra en las figuras 23; anexando un colado extra en la parte superior de 6 cm. de altura, mostrándose en la figura 25. Se agregaron puntales de 1 m., alrededor de un soporte cilíndrico de plástico, para tener una mayor altura. La instalación final del reactor se muestra en la figura 27.



Figura 21. Sitio de instalación del reactor



Figura 22. Tubo de vidrio reforzado transparente de 3" de D.



Figura 23. Malla electrosoldada con base triangular de perfiles de acero



Figura 24. Cimentación de hormigón de 80x80 cm



Figura 25. Construcción de un colado extra en la parte superior de la malla electrosoldada



Figura 26. Medio de soporte



Figura 27. Instalación final del reactor

El reactor se alimentó con agua potable, el agua bajó por gravedad por tuberías de PVC conectadas a un tinaco elevado con la válvula de compuerta, se reguló la velocidad de entrada de agua al reactor hasta obtener los tiempos de retención hidráulica de 30 ml/min y se realizó un monitoreo diario del reactor y de las válvulas, para así cuidar la continuidad del flujo.

Las visitas fueron diarias al reactor, se inspeccionó el comportamiento del reactor, tomándose el pH del agua tratada con ayuda de un potenciómetro; registrándose diariamente el parámetro de control en el afluente y efluente por medio de varias muestras, los promedios de estos se enlistaron en la tabla 12, respectivamente. El reactor se alimentó continuamente con agua potable de la toma municipal y trabajó de forma óptima con el medio de soporte.

Tabla 12

Promedio pH por semanas de Afluente y Efluente

Fecha	pH Afluente Promedio	pH Efluente Promedio
Semana 1 24 al 28 feb 2020	7.45	7.95
Semana 2 02 al 06 mar 2020	7.82	8.08
Semana 3 09 al 13 mar 2020	7.75	8.13
Semana 4 16 al 20 mar 2020	7.84	8.5

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El desarrollo de la biomasa sobre el medio de soporte tuvo una duración aproximada de 28 días. Dado que la evolución de la formación de la biopelícula se ha evaluado mediante simple inspección visual, es imposible distinguir con precisión cada etapa del proceso. Sin embargo, la población microbiana alrededor de las partículas de concha de ostión aumentó significativamente, como se muestra en el Anexo II, donde, se puede ver la adherencia de los microorganismos en la cáscara de ostión triturada, que fue empleada como soporte microbiano. La alimentación del reactor de lecho empacado con agua potable permitió la colonización de las partículas de concha de ostión con microorganismos, sin necesidad de adición de algún inóculo.

El seguimiento de los parámetros pH y temperatura indicaron valores favorables para el desarrollo de la biomasa y el funcionamiento del proceso biológico, el pH promedio del efluente fue entre 7.95 y 8.5, mientras que la temperatura promedio fue de 27 °C. El pH del efluente se mantuvo neutro durante las 4 semanas de operación para su estabilización, por lo que, posiblemente pueda lograrse con mayor rapidez el crecimiento de la biopelícula si el reactor es alimentado con aguas residuales de uso doméstico.

Los desechos de concha de ostión son un material orgánico y alternativo para usarse como medio de soporte en los lechos empacados que se utilizan en procesos de catálisis y de adsorción, puesto que pueden ser capaces de degradar metales pesados, ya que, las partículas de CaCO_3 contenidas en las conchas de ostión tienden a atraer aniones y a repeler cationes, por lo que las interacciones coulombicas entre los iones metálicos y la superficie cargada de las partículas de conchas de ostión contribuyen a que el proceso de adsorción se lleve a cabo.

CONCLUSIONES

Se logró diseñar y construir un reactor experimental de lecho empacado con el fin de evaluar la concha de ostión de desecho, siendo este material una propuesta de medio de soporte para la remoción de contaminantes. El sistema de lecho fijo construido permite estudiar el comportamiento de reacciones de catálisis heterogénea, de tal forma que permite evaluar la concha de ostión como catalizador. En este sistema, el lecho tiene también un efecto filtrante y atrapa los sólidos suspendidos del agua, debido al medio poroso, que en este caso son las partículas de concha de ostión, a través de las cuales pasa el agua a ser depurada.

Se finalizó con la instalación del reactor correctamente, aunque hubo algunos inconvenientes. Diversas fugas de agua se presentaron, pero se pudo solucionar el problema detectándolas a tiempo, de forma que no afectara la estabilización del reactor. Al principio se tuvo que aumentar la altura del Afluente, debido a que la presión por gravedad no era suficiente para hacer que el flujo dentro del reactor ascendiera óptimamente.

Una variedad de microorganismos se fue multiplicando activamente en el material de medio de soporte del reactor, creando así un sistema de biofilm, que permite obtener mejores resultados en la eficiencia de remoción y a la vez reduce la posibilidad de atascamientos por parte de la biomasa.

CRONOGRAMA

Tabla 13

Cronograma de actividades

ACTIVIDAD	MESES (SEMANAS)																																																							
	Agosto				Septiembre				Octubre				Noviembre				Diciembre				Enero				Febrero				Marzo				Abril				Mayo				Junio				Julio											
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50						
1. Recolección de los desechos de concha de ostión.																																																								
2. Molienda y cribado de la concha de ostión.																																																								
3. Caracterización mediante análisis fisicoquímicos a la concha de ostión.																																																								

4. Construcción reactor de lecho empacado																																																			
5. Elaboración de la tesis																																																			

BIBLIOGRAFÍA

Almaguer V. (2011). Diseño y evaluación de un reactor en columna a escala Bench para la remoción de metales pesados utilizando la proteína quimérica Metalotioneína-Tioredoxina (Tesis doctoral). Facultad de Ciencia Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León, Nuevo León, México.

Bendeck C., Orellana C. Y Schente H. (2010). Diseño, construcción y pruebas de funcionamiento de un lecho empacado para laboratorios de flujo de fluidos (Tesis de pregrado). Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela de Ingeniería Química, Universidad De El Salvador, San Salvador, El Salvador.

Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca (2015). Anuario Estadístico de Acuacultura y Pesca. Recuperado de <https://www.gob.mx/conapesca/documentos/anuario-estadistico-de-acuacultura-y-pesca>

Comisión Nacional del Agua. (2015). Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación. Recuperado de <https://www.gob.mx/conagua/documentos/inventario-de-plantas-municipales-de-potabilizacion-y-de-tratamiento-de-aguas-residuales-en-operacion>

Comisión Nacional del Agua. (2018). Estadísticas del Agua en México (Edición 2018). Recuperado de http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM_2018.pdf

Comisión Nacional del Agua. (2001). Serie autodidáctica de medición de la calidad del agua. Recuperado de <http://201.116.60.182/conagua07/Noticias/Fisicoquimicos.pdf>

Corredor D. y Caicedo L. (2005). Modelos matemáticos para reactores biológicos de lecho empacado (PBR): una revisión bibliográfica. Ingeniería e Investigación. Volumen 25 (3), p. 101-110.

Esteban F. (2006). Caracterización microestructural y cristalográfica de la concha de Prismatofoliada de Pectinoidea, Anomioidea y Ostreoidea (Pteriomorphia: Bivalvia).

Implicaciones Evolutivas (Tesis doctoral). Departamento de Estratigrafía y Paleontología, Facultad de Ciencias, Universidad De Granada, Granada, España.

Jiménez D. (2012). Cuantificación de metales pesados (Cadmio, Cromo, Niquel y Plomo) en agua superficial, sedimentos y organismos (*Crassostrea Columbiensis*) ostión de mangle en el puente portete del estero salado (Guayaquil) (Tesis de pregrado). Facultad De Ciencias Naturales, Escuela De Biología, Universidad De Guayaquil, Guayaquil, Ecuador.

Manrique E., (2013). Desarrollo de tratamientos aerobios en medio fijo. En Pacchiano R. (Presidencia), The GREEN Expo, CONIECO. Conferencia llevada a cabo en el XXI Congreso Internacional Ambiental, Ciudad de México, México.

Noguera A. y Pacheco N. (2014). Creación a nivel de laboratorio de un reactor de lecho fijo experimental de flujo ascendente para la determinación de los parámetros fundamentales de diseño a escala real (Tesis pregrado). Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Cuenca, Ecuador.

NORMA Oficial Mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011. Que establece los criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial y determinar cuáles están sujetos a Plan de Manejo; el listado de los mismos, el procedimiento para la inclusión o exclusión a dicho listado; así como los elementos y procedimientos para la formulación de los planes de manejo. Hidalgo, México, 22 de agosto de 2011.

Organización Mundial de la Salud (2019). Agua, datos y cifras. Recuperado de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>

Organización Mundial de la Salud (2019). Enfermedades y riesgos asociados a las deficiencias en los servicios de agua y saneamiento. Recuperado de https://www.who.int/water_sanitation_health/diseases-risks/es/

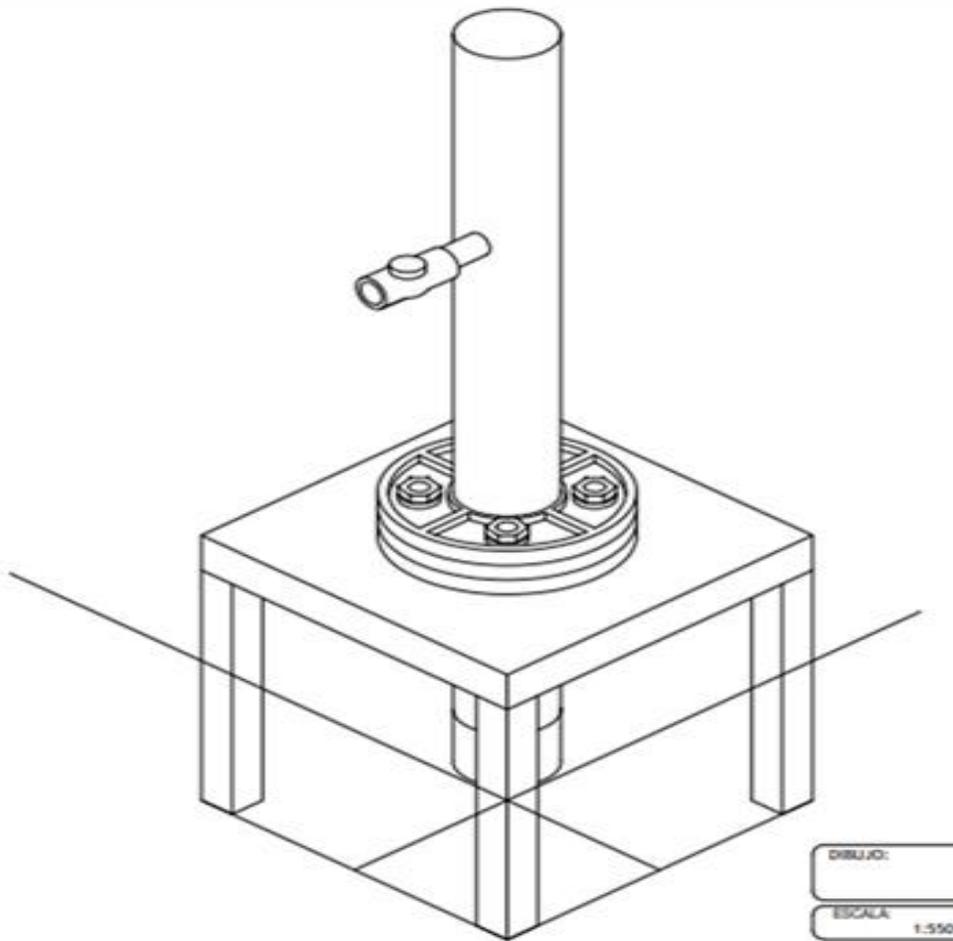
Ramón C., Barajas J., Pérez G., Hernández M. y Flores L. (2019). Adsorción de Cobre (II) y Cadmio (II) en suspensiones acuosas de CaCO_3 biogénico nanoestructurado. Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio. Volumen 58, (1), p. 2-13.

Vargas M. (2017). Análisis de la zeolita como material filtrante en el tratamiento de aguas residuales provenientes de la curtiembre “promacc” ubicada en la ciudad de Ambato provincia de Tungurahua (Tesis de pregrado). Facultad De Ingeniería Civil Y Mecánica, Universidad Técnica De Ambato, Ambato, Ecuador.

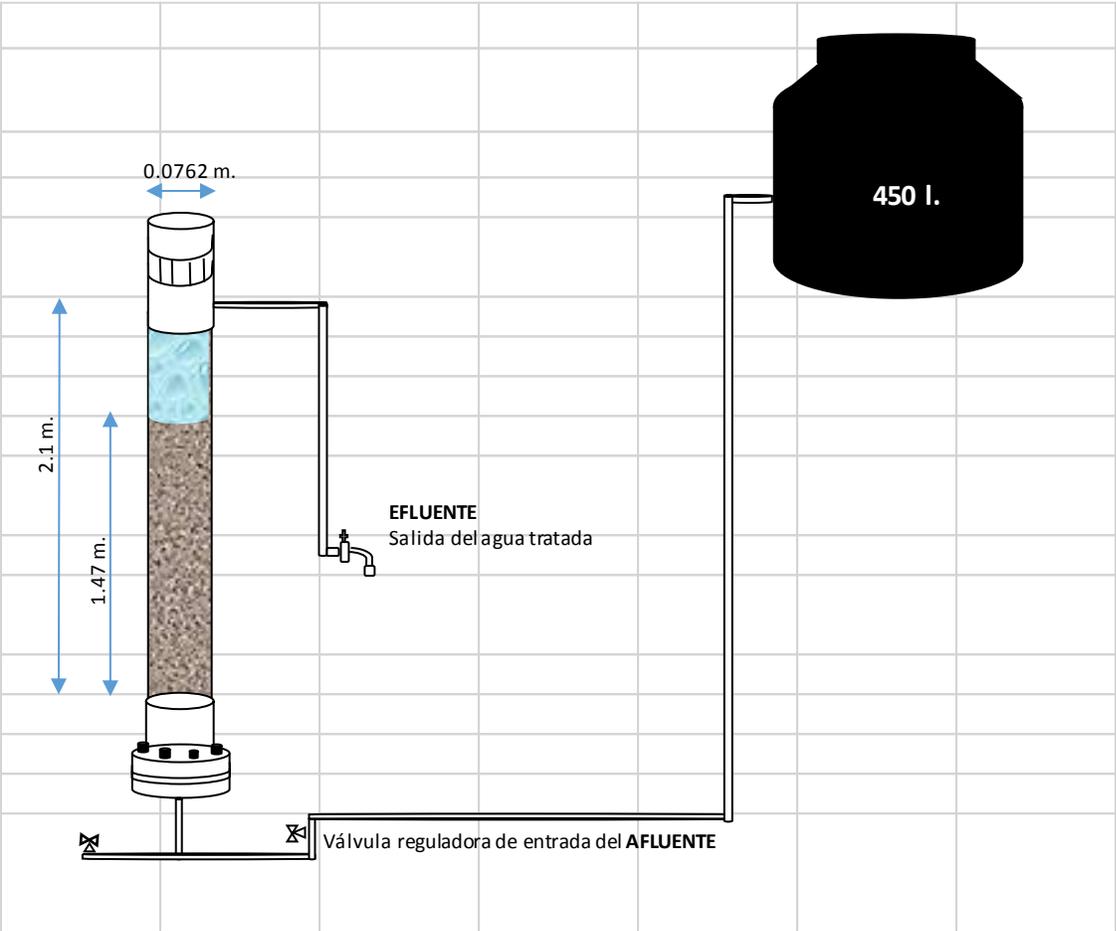
Villada Y., Hormaza A. y Casis N. (2014). Uso de la cascarilla de arroz para la remoción de azul de metileno en columnas de lecho empacado. Tecno Lógicas. Volumen 17 (33), p. 43-54.

ANEXO I

Plano inicial del prototipo del reactor



Medidas del diámetro, altura y altura del medio de soporte del reactor



ANEXO II

Formación de biopelícula en reactor experimental de lecho empacado

