

Título del Proyecto de Investigación
al que corresponde el Reporte Técnico:

Identificación y cuantificación de fármacos tipo aine's en agua del río Bravo
usando la técnica de extracción en fase SÓLIDA-FTIR-UV-vis

Tipo de financiamiento

Sin financiamiento

Fecha de Inicio: 01/01/2020
Fecha de Término: 31/12/2020

Tipo de Reporte

Parcial

Final

Autor (es) del reporte técnico:

Luis Gerardo Bernadac Villegas
Miguel Domínguez Acosta
Humberto Rubí Juárez

Identificación y cuantificación de fármacos tipo aine's en agua del río Bravo usando la técnica de extracción en fase SÓLIDA-FTIR-UV-vis

Resumen

Los antiinflamatorios no esteroideos se han posicionado entre los principales grupos de medicamentos más consumidos y comprados sin receta, además ha sido poca la atención que se les da al estudio de sus efectos tóxicos. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud, este grupo de fármacos representan los más utilizados como analgésicos, seguidos de opioides débiles y finalmente opioides potentes. Los afluentes y efluentes de residuos de medicamentos detectados en Plantas tratadoras de agua residual (PTAR) han revelado que muchos productos farmacéuticos no se eliminan por completo en los procesos tradicionales de tratamiento (coagulación, floculación, sedimentación, etc.). En Ciudad Juárez no hay información al respecto de la importancia y el impacto que generan dichos contaminantes, por lo que es relevante hacer un estudio inicial y sugerir tecnologías alternativas o complementarias para su remoción.

Abstract

Non-steroidal anti-inflammatory drugs have positioned themselves among the main groups of drugs most consumed and bought without a prescription, and little attention has been given to the study of their toxic effects. According to the World Health Organization, this group of drugs represents the most widely used as analgesics, followed by weak opioids and finally strong opioids. Influences and effluents of drug residues detected in Wastewater Treatment Plants (WWTPs) have revealed that many pharmaceutical products are not completely removed in traditional treatment processes (coagulation, flocculation, sedimentation, etc.). In Ciudad Juárez there is no information regarding the importance and impact that these pollutants generate, so it is relevant to carry out an initial study and suggest alternative or complementary technologies for their removal.

Palabras clave:

contaminantes emergentes, AINE's, tratamiento, agua residual, humedales

Usuarios potenciales (del proyecto de investigación)

UACJ, comunidad académica, público general

Reconocimientos

A Mileva, Estefanía, Raúl, Isaí y Jazmin, exalumnos del IIT, por su apoyo en la realización del presente proyecto

1. Introducción

En la actualidad, gran parte de los cuerpos de agua han sido contaminados con residuos líquidos provenientes de actividades antropogénicas derivadas de la industria, productos farmacéuticos y productos para el cuidado personal (PPCPs) (Lin et al., 2016). Los contaminantes emergentes (CE) son los compuestos que son vertidos en el agua y no están regulados por alguna normatividad, son capaces de formar efectos secundarios al ser desechados, pueden provocar efectos negativos al medio ambiente debido a su toxicidad y son capaces de acumularse en su entorno debido a que son persistentes en el medio ambiente y tienen el potencial de bioacumulación en organismos (Meléndez et al., 2020). Los CE no son removidos en las plantas de tratamiento de aguas residuales, debido a que no existe normatividad que exija su tratamiento o su monitoreo (Doria et al., 2020). Las plantas de tratamiento de agua residual se encargan de que las aguas residuales no se desechen a ríos u otras fuentes de abastecimiento sin un tratamiento primario que es donde se eliminan los desechos sólidos y se le da también un tratamiento secundario que es de tipo biológico el cual con microorganismos realiza la eliminación de materia orgánica biodegradable (Peña & Castillo, 2015). Una forma en la que el planeta se depura de los contaminantes que son arrojados al medio, es a través de los humedales naturales (HN) que existen en todo el planeta, estos se encargan de limpiar las aguas y mejorar su calidad, tomando estos de referencia, se ha tomado en cuenta la realización de humedales artificiales como un tratamiento secundario que purifique el agua de los PPCP's (Navarro & Durán, 2019). Los humedales artificiales o construidos (como también se les llama), son tecnologías sostenibles integrados por agua, plantas, grava y/o microorganismos que remueven los contaminantes con una eficiencia significativa dependiendo del tiempo que dure el tratamiento, son sistemas complejos debido a que es la construcción de un sistema biológico pero, su operación y mantenimiento son sencillos, así como su bajo costo (Jaramillo Gallego et al., 2016).

2. Planteamiento

2.1 Antecedentes

Los anti-inflamatorios no esteroideos (AINE's) constituyen uno de los grupos de fármacos de mayor consumo en todo el mundo (Madridejos, 2012) y de mayor automedicación, debido a que son comercializados mayormente en farmacias sin receta médica, factor que tiene como consecuencia una continua descarga al ambiente, siendo la razón de concentrar los esfuerzos para detectar estos productos farmacéuticos en aguas residuales.

La presencia de residuos farmacéuticos del grupo antiinflamatorios no esteroides (AINE's) en efluentes de agua, está en función del incremento de su consumo por el efecto positivo en la salud humana que proporcionan en cuanto a la liberación de dolor,

aumentando progresivamente las prescripciones médicas para más de 70 millones de veces al año, (Santibáñez, 2014). La preocupación del destino en el medio ambiente principalmente mediante orina y heces, radica en el potencial para causar efectos ecológicos adversos. (Rodríguez, 2014).

La razón por la que estos fármacos pueden llegar a aguas superficiales es por la baja eliminación en los procesos de depuración de aguas residuales. Se detectaron más de 80 fármacos AINE's en concentraciones de ng/L, o has en µg/L en muestras de agua residual, lodos de estaciones depuradoras de aguas residuales urbanas (EDAR's), aguas superficiales, subterránea y hasta en agua potable (Weigel, et al., 2004). Lo que demuestra el potencial de persistencia y movilidad que estos contaminantes presentan.

Según Fent y sus colaboradores en 2006, el ibuprofeno ha sido reconocido como uno de los principales fármacos AINE's presentes en el ecosistema acuático y la principal fuente de ibuprofenos son los efluentes de aguas residuales municipales.

- Siemens y colaboradores (2008) encontraron ibuprofeno y diclofenaco en agua residual de la zona metropolitana de la ciudad de México por arriba del límite de acción de la FDA (Food and Drug Administration) considerado para una evaluación de riesgo ambiental (1µg/L), también Gibson en el 2010 reporta concentraciones de 742-1406 ng/L para ibuprofeno, 7267-13 589 ng/L para naproxeno y 2052-4824 ng/L para diclofenaco en la misma zona metropolitana.
- Silva Castro en 2008, llevó a cabo una evaluación de 17 contaminantes emergentes, entre fármacos y disruptores endócrinos en agua residual y de las fuentes de abastecimiento del valle de Tula, Hidalgo. Entre los 7 fármacos analizados mediante cromatografía de gases acoplada a un detector selectivo de masas, se encontraron resultados de las concentraciones promedio para naproxeno con 13,620 ng/L y ácido salicílico con 2,867 ng/L, la cuales fueron superiores al resto de los fármacos.
- Existen otros estudios del centro de la república donde se ha encontrado la presencia del ibuprofeno y diclofenaco en aguas residuales y ríos. Saldaña determinó en 2012, fármacos mediante extracción en fase sólida-Cromatografía de líquidos/UV, para muestras de agua en los canales de Xochimilco en la ciudad de México, donde las concentraciones determinadas por el método fueron, naproxeno <0.3 ppb, ácido salicílico 5.4 ppb e ibuprofeno con 6 ppb, siendo resultado de un muestreo único, los niveles de ibuprofeno y ácido salicílico en uno de los afluentes son preocupantes por el posible foco de contaminación puntual.
- En otro estudio realizado por Cruz en el 2013 determinó la presencia de compuestos farmacéuticos en cuerpos de agua superficial impactados por descargas de aguas residuales de Tapachula Chiapas, México, los resultados demostraron la presencia de ibuprofeno a una concentración de 3.97-31.30 µg/L, naproxeno con 17.83-142.50 µg/L y ketoprofeno con 5.30-67.87 µg/L. Según los cálculos de índices de riesgo ambiental, naproxeno e ibuprofeno fueron las

moléculas que presentan el mayor riesgo hacia diferentes organismos acuáticos, como algas, crustáceos y peces.

- En Venezuela, Correia y Marcano determinaron en 2016 la concentración de acetaminofén, ibuprofeno y diclofenaco en agua residuales para estimar la eficiencia de remoción en una planta de tratamiento en la zona central de Venezuela, en donde se encontraron concentraciones medias de 20, 14 y 8 µg por litro para los tres analgésicos, el porcentaje de remoción mayor fue para el acetaminofén (>93%) y el menor para el diclofenaco con 49% de remoción.

2.2 Marco teórico

Contaminantes emergentes

Uno de los desafíos más grandes que tenemos en la actualidad, es el garantizar la calidad de nuestros recursos hídricos. Sin embargo, el aumento de la población ha hecho que esto cada vez se vuelva más difícil, debido a que en los últimos años ha aumentado el ritmo de producción de productos que consumimos, y por consecuencia ha aumentado la contaminación. Los CE son compuestos químicos caracterizados por alterar el medio ambiente debido no solo a su persistencia, sino a su bioacumulación y a la velocidad en que se están introduciendo en el ecosistema, se les llama emergentes debido a que se sabe poco sobre el daño que ocasionan estos contaminantes en el medio ambiente (Delgado, 2019).

Clasificación

A pesar de la escasez de datos acerca del comportamiento medio ambiental y ecotoxicológico de los contaminantes emergentes, estos se clasifican en:

- Fármacos
- Parafinas cloradas
- Pesticidas polares
- Compuestos perfluorados
- Retardantes de llama
- Metabolitos de las clases de sustancias anteriores. (Barreto, 2017).

Productos farmacéuticos

Los fármacos se crearon para prevenir, mitigar o curar enfermedades en los humanos y los animales. Los fármacos entran en la categoría de CE, estos se han encontrado en gran volumen en aguas superficiales provenientes del sistema de tratamiento de aguas residuales de las ciudades (Sánchez Barboza, 2015).

Los fármacos al convertirse en metabolitos pueden ser más perjudiciales en el medio ambiente, llegan a las aguas residuales a través de las heces fecales o de la orina, por medio de desechos líquidos de los hospitales o de industrias y posteriormente se liberan

en el medio ambiente por medio de las aguas residuales de la ciudad (Meléndez et al., 2020).

Retardantes de llama (FR)

Los retardantes de llama son mezclas de sustancias químicas creadas con la finalidad de que los productos como plásticos y electrónicos, sean menos inflamables. Entre los más utilizados se encuentran los retardantes de llama: Halogenados, clorados y bromoclorados (BFR) (Guerra, 2011).

Hormonas.

Las hormonas son sustancias químicas que nuestro cuerpo produce con el fin de regular la actividad de nuestros tejidos.

Los estrógenos son hormonas producidas en los ovarios de las mujeres y en los testículos de los hombres, sin embargo, cuando no se generan en la cantidad correcta para el funcionamiento adecuado de nuestro organismo, es necesario ingerirlas y al desecharlas acaban en una PTAR donde no se tratan y terminan en un efluente (Ramírez *et al.*, 2015). Las hormonas entran en los efluentes después de que las PTAR no pueden eliminarlos, la cantidad encontrada de estos contaminantes ha aumentado debido a que el uso de hormonas sintéticas se ha ampliado con el uso tanto de píldoras anticonceptivas, como de estrógenos y andrógenos (Gil *et al.*, 2012).

Las hormonas no suelen tener la propiedad de biodegradación debido a que son creados con el objetivo de ser persistentes hasta que su función específica se haya cumplido (Liñan, 2015).

Presencia en ecosistemas acuáticos

La principal causa de que los fármacos lleguen a los efluentes es debido a vertimientos puntuales y no puntuales de aguas residuales a los ecosistemas, en los que se encuentran efluentes hospitalarios, por medio de disposición final inadecuada por medio de sanitarios domiciliarios. Al paso de los años, la cantidad de fármacos en las aguas residuales ha aumentado debido a que se generan medicamentos día a día con la esperanza de incrementar la expectativa de vida, esto a su vez provoca que se utilice mayor cantidad de fármacos de los cuales, los más convencionales ya son de fácil acceso debido a su libre venta (López *et al.*, 2016).

Impacto en el medio ambiente

La presencia de estos contaminantes en el medio ambiente no está muy clara debido a que no existen suficientes estudios que dictaminen el daño que causan, sin embargo, debido a que tienen una gran afinidad de persistencia son capaces de permanecer por mucho tiempo en los ecosistemas acuáticos y son bioacumulables lo que significa que los animales que viven en estos ecosistemas comienzan a acumularlo en su sistema y a tener

fallas en sus órganos además de que son capaces de biomagnificarse a través de la cadena trófica (Reinoso *et al.*, 2017).

Humedales

Según la Secretaría de la Convención de Ramsar, 2016 “ Se declara humedales las extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean estas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros”.

3. Objetivos (general y específicos)

Determinar y cuantificar fármacos antiinflamatorios no esteroideos en el agua del canal del Río Bravo, mediante el método de Extracción en fase sólida-FTIR-UV-vis.

Objetivos específicos

- Definir los puntos geográficos del Río bravo para realizar un muestreo representativo en los poblados de Loma Blanca, San Isidro, San Agustín y Jesús Carranza.
- Extracción en fase sólida del analito a cuantificar.
- Determinar por medio de FTIR los grupos funcionales de los analitos de interés.
- Cuantificación por UV-vis de los analitos en muestras de agua del Río Bravo.

4. Metodología

En este capítulo se presentará la metodología del presente estudio, la cual fue modificada para únicamente incluir una revisión de la literatura en relación a la presencia, identificación, cuantificación y análisis de contaminantes emergentes (fármacos) en cuerpos de agua así como tecnologías alternas para la remoción de los mismos.

Recopilación de la información documental

En esta etapa se realizó una búsqueda exhaustiva de información sobre estudios, proyectos de titulación, tesis, artículos científicos que enriquecieron la identificación documentada acerca de remoción de contaminantes emergentes mediante la utilización de humedales construidos de diferentes flujos. Se utilizaron cuatro diferentes bases de datos Google académico, Bivir, BioOne y EBSCO, de las cuales las últimas tres tenemos acceso por medio de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. En esta etapa se realizó una búsqueda profunda de información sobre estudios, proyectos de titulación, tesis, artículos científicos que enriquecieron la identificación documentada acerca de remoción de contaminantes emergentes mediante la utilización de humedales construidos de diferentes flujos.

Base de datos

Bivir fue la primera base de datos que se utilizó, para realizar la búsqueda se ingresó al portal de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez donde se tiene libre acceso. Bivir tiene un amplio catálogo de bibliotecas UACJ, en donde incluye información y asesorías por parte del personal bibliotecario, tiene el objetivo de proporcionar a sus estudiantes la información requerida proporcionando ligas y referencias bibliográficas. Se comenzó la búsqueda seleccionando “Remoción de contaminantes emergentes” exclusivamente en México (figura 3), posteriormente se comenzó a realizar la búsqueda para cada contaminante emergente, delimitando con la palabra hormona y jugando con el orden de las palabras esperando encontrar mayores resultados (Figura 8). Lo mismo ocurrió para buscar estudios relacionados con retardantes de llama. Se busco la palabra retardante de llama implementando algunas depuraciones como remoción y humedales construidos con el fin de hacer más específica la búsqueda (figura 5).

Búsqueda integrada en: **Biblioteca Virtual**

Remoción de contaminantes emergentes co Seleccione un campo (opcional) ▾ **Buscar**

AND ▾ mexico Seleccione un campo (opcional) ▾ Borrar ?

AND ▾ Seleccione un campo (opcional) ▾ + -

[Búsqueda básica](#) [Búsqueda avanzada](#) [Historial de búsqueda](#) ▶

Resultados de la búsqueda: 1 a 20 de 147 Relevancia ▾ Opciones de

Figura 1 Búsqueda de información relacionada con remoción de contaminantes emergentes en México a través de la base de datos Bivir

Búsqueda integrada en: **Biblioteca Virtual**

hormona Seleccione un campo (opcional) ▾ **Buscar**

AND ▾ remoción Seleccione un campo (opcional) ▾ Borrar ?

AND ▾ humedales construidos Seleccione un campo (opcional) ▾ + -

[Búsqueda básica](#) [Búsqueda avanzada](#) [Historial de búsqueda](#) ▶

Resultados de la búsqueda: 1 a 5 de 5 Relevancia ▾ Opciones de página

Nota: Las repeticiones exactas se eliminaron de los resultados.

Figura 2 Búsqueda de información relacionada con remoción de hormonas a por medio de humedales construidos en México a través de la base de datos Bivir

Búsqueda integrada en: **Biblioteca Virtual**

retardante de llama Seleccione un campo (opcional) ▾ **Buscar**

AND ▾ remoción Seleccione un campo (opcional) ▾ Borrar ?

AND ▾ humedales construidos Seleccione un campo (opcional) ▾ + -

[Búsqueda básica](#) [Búsqueda avanzada](#) [Historial de búsqueda](#)

No se encontraron resultados.

Figura 3 Búsqueda de información relacionada con remoción de retardante de llama por medio de humedales construidos en México a través de la base de datos Bivir

BioOne es una base de datos que se centra en la investigación de ciencias biológicas y temas de interés en cuestión de medio ambiente como temas de ecología, calentamiento global y la conservación de la biodiversidad. La recopilación inició buscando “Constructed wetland” y delimitando solo con fármacos durante el periodo señalado (figura 6).



Figura 4 Búsqueda de remoción de fármacos mediante humedales construidos a través de la base de datos BioOne

EBSCO es un servicio de información que cuenta con acceso a diferentes bases de datos, con la finalidad de ofrecer diferentes contenidos relacionado a la información que se busque, cuenta con información en ciencias, arte, medicina, negocios, biología. La búsqueda se realizó con los parámetros de “Fármacos” AND “Remoción” AND “México”, (Figura 11).

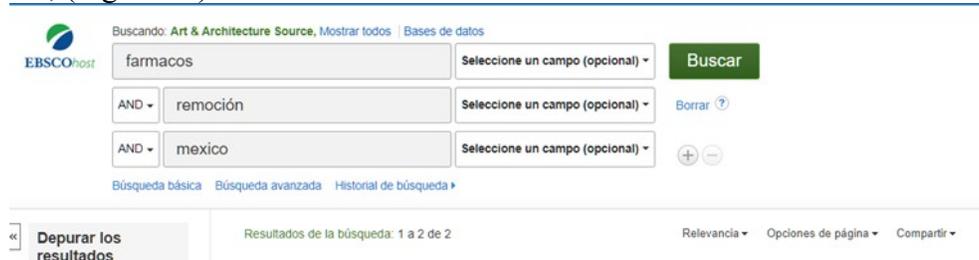


Figura 5 Búsqueda de información relacionada con la remoción de fármacos con humedales construidos a través de la base de datos EBSCO



Figura 6 Búsqueda de información referente a la remoción de retardantes de llama a través de la base de datos EBSCO



Figura 7 Búsqueda de información referente de a la remoción de hormonas con humedales construidos a través de la base de datos EBSCO

Google Académico es un buscador que ofrece Google especializado a búsqueda de contenido científico-académico enfocado a bibliografía y un público que esté buscando información referente a investigación, permite el acceso gratuito a artículos, libros, tesis, patentes, congresos y resúmenes.

En las cuatro bases de datos, se comenzó la recopilación en la cual se buscaron los mismos parámetros que fueron el tema principal “Remoción de contaminantes emergentes” seguido de parámetros para delimitar la búsqueda específica: Comenzando por la palabra AND > “México”, “Publicaciones académicas”, “Humedales construidos”, durante un periodo de 10 años que inicia en el 2010 culminando en el 2020. Después, se realizó una búsqueda exclusiva para cada contaminante emergente, es decir primero se buscaron los fármacos (figura 5), después las hormonas (Figura 6), seguido de los PPCP’s y por último retardantes de llama (Figura 7).

Comparación de la información.

Una vez teniendo los resultados de la recopilación de la información se hizo una comparación de estos, donde se agruparon por tipo de contaminantes emergentes, tipo de humedales, tipo de plantas utilizadas y porcentaje de remoción con ayuda de tablas comparativas, además hizo un análisis gráfico de la información obtenida donde se destacaron los números de estudios por contaminantes emergentes.

5. Resultados

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de la recopilación y comparación de la información obtenida en las diferentes bases de datos.

Resultados obtenidos de la recopilación de la información

Bivir

Se realizó la primera búsqueda en la base de datos Bivir seleccionando el campo de “Remoción de contaminantes emergentes” > AND > México, con lo que se proporcionaron 147 resultados, se comenzó a delimitar la búsqueda en un periodo del año 2010 al 2020, donde se arrojó 133 resultados, se delimitó nuevamente seleccionando “publicaciones académicas” y se obtuvieron 13 resultados (Figura 8)

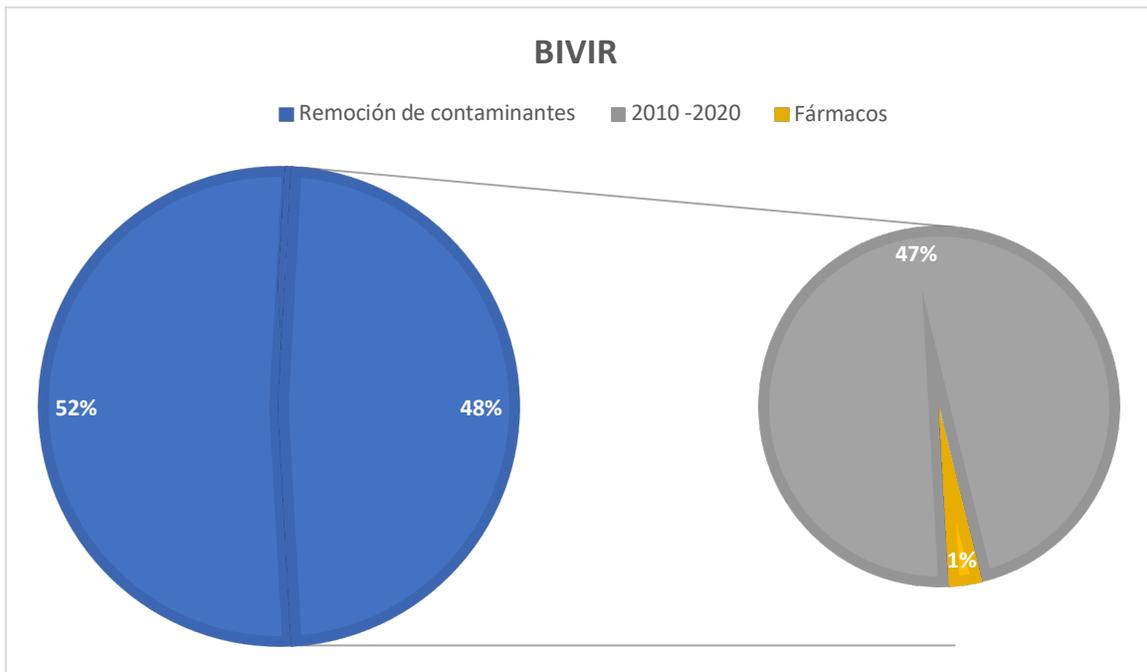


Figura 8 Búsqueda de fármacos removidos por contaminantes emergentes en México en la base de datos Bivir

En la figura 10 se presenta el porcentaje de la búsqueda en el cual el 147 representa el 100% de los cuales solo el 48% de los estudios se encuentran dentro del periodo de 10 años y de ese porcentaje solo el 1% estaban relacionados con la remoción de fármacos por medio de humedales construidos.

Se realizó una segunda búsqueda con el fin de ser más precisa seleccionando “Remoción con humedales construidos” > AND > Fármacos, depurando con un periodo de 2010 a 2020 y “Sólo publicaciones académicas” donde se obtuvieron 4 resultados (Figura 11).



Figura 9 Búsqueda de información relacionada con remoción de fármacos por medio de humedales construidos en México en la base de datos Bivir

Para buscar información referente a retardantes de llama se seleccionó “Remoción de retardantes de llama con humedales construidos” AND “México” sin depurar con los parámetros anteriores se obtuvieron cero resultados. Nuevamente se buscó “Retardante de llama” > AND > “Remoción” > AND > “Humedales construidos”, donde nuevamente no se encontraron resultados (Figura 5).

La siguiente búsqueda fue referente a las hormonas, se comenzó buscando “Hormonas” AND remoción”, obteniendo 469 resultados, se realizó una depuración con AND “Humedales construidos”, con los que se obtuvieron cinco resultados de los cuales cuatro son libros académicos y no se encuentran disponibles (Figura 4 y 12).

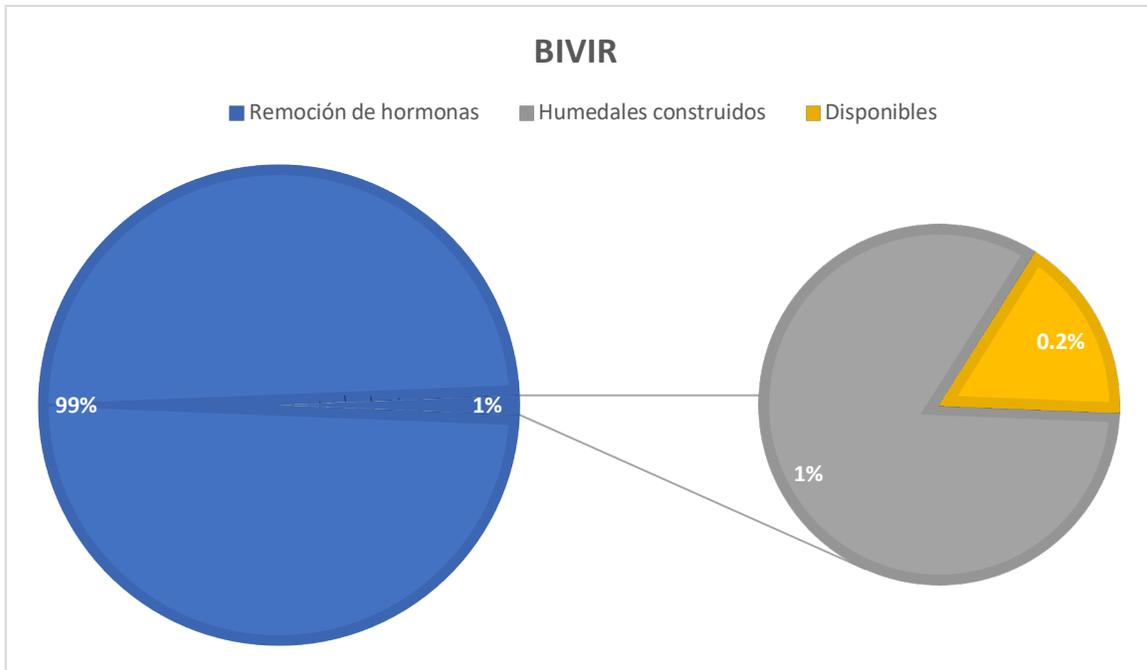


Figura 10 Porcentaje de estudios disponibles en relación con remoción de hormonas por medio de HC en la base de datos Bivir

La última búsqueda fue referente a los PPCP's, los estudios encontrados fueron que ya se tenían seleccionados debido a que algunos autores realizaron su investigación en base a más de un contaminante emergente, no se encontró ningún estudio en el que solo se estudiara la remoción de PPCP's.

BioOne

Se comenzó buscando "removal of emerging pollution" obteniendo 1393 resultados, se realizó la depuración con "Constructed wetlands" AND "Pharmaceutical" en un parámetro de diez años (2010 a 2020) encontrando 35 resultados (figura 6).

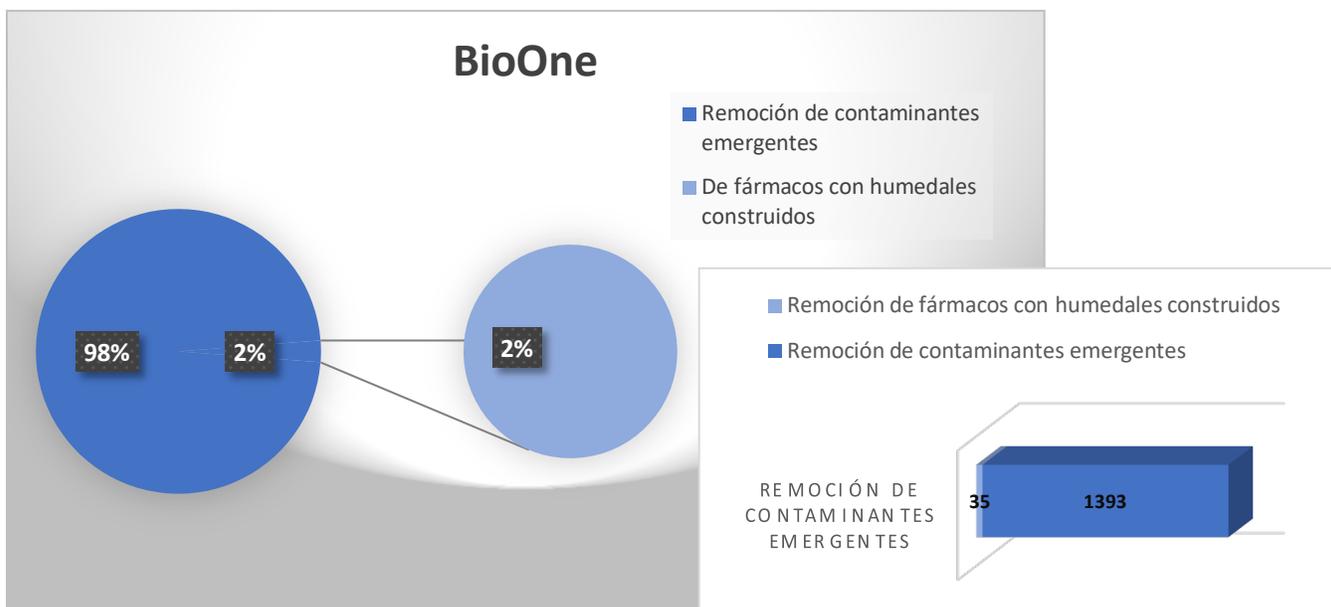


Figura 11 Resultados de la búsqueda de "remoción de fármacos con humedales construidos" a través de la base de datos BioOne.

En la figura 11 se muestra el resultado de la búsqueda de remoción de fármacos con humedales construidos en porcentaje. El 100% (1392 resultados) representa la remoción de contaminantes emergentes de los cuales solo el 2% (35 resultados) fueron referentes a remoción de fármacos como contaminantes emergentes a través de humedales construidos.

EBSCO

La búsqueda se realizó con los parámetros de "Fármacos" AND "Remoción" AND "México", donde se obtuvieron dos resultados que fueron las mismas publicaciones que en las bases de datos antes utilizadas (figura 7).

En cuestión a los retardantes de llama, se realizó la búsqueda con los parámetros "Remoción de Retardante de llama con humedal construido" y no se encontraron resultados (Figura 8), lo mismo sucedió con el caso de las hormonas, no se encontraron resultados por medio de la base de datos EBSCO (Figura 9).

Después de realizar una búsqueda exhaustiva los estudios se concentraron en las siguientes categorías: Fármacos, hormonas y PPCP's (Tabla 5).

Los grupos de contaminantes más estudiados según la consulta realizada fueron los fármacos entre ellos destacan los antiinflamatorios no esteroideos (AINES) como el ibuprofeno y naproxeno con un porcentaje de remoción del 90%.

En la tabla 5, se muestran 15 estudios (algunos autores analizaron más de un CE) de los cuales trece son relacionados a la remoción de fármacos, cuatro referentes a los PPCP's, en uno se encontró presencia de contaminantes emergentes derivados a la industria y dos abordan las hormonas.

Tabla 1 Diferentes contaminantes emergentes estudiados del año 2010 a 2020

Año	Autor	Contaminante emergente
2019	Delgado	Fármacos (Carbamazepina y sildenafil) y PPCP's (Metilparabeno).
2019	Navarro frómata & Durán Domínguez	NA
2019	Palacin et al	PPCP (fragancias (triciclododecanodimetanol, Dowanol, Dihydroactinidiolide, Nerolin y Lilian)).
2018	Bayona	Fármacos (Carbamazepina, eritromicina, naproxeno, ácido clofíbrico, lincomicina, sulfametoxazol, diclofenaco, paracetamol), PPCP (Galaxolida) y Hormona (Etinilestradiol).
2018	Hopson et al.,	Fármacos (Atenonol, Carbamazepina) y la hormona norethindrone.
2018	Miceli Montecinos et al.,	Fármacos
2018	Zurita et al.,	Fármaco (Carbamazepina)
2017	(L. Zhang et al., 2017)	Fármacos (Ibuprofeno)
2017	Cervantes et al.,	Fármacos (Ibuprofeno)
2016	Herrera	Fármacos
2016	Marrugo et al.,	Insecticida
2015	Peña & Castillo	Fármacos (naproxeno, triclosán, clorofenol y para el bisfenol A).
2015	Tejeda et al.	Fármacos (carbamazepina).
2014	Miceli Montesinos et al.,	Fármacos
2011	Zhang et al.,	Fármacos (carbamazepina, ibuprofeno, naproxeno, fenopreno y ciclofosfamida).

En los resultados de la tabla 6 se puede apreciar que los porcentajes más altos de remoción son aquellos en los que se utilizaron humedales híbridos coincidiendo con Tejeda *et al.* (2015), y Bayona (2018), donde mencionan respectivamente: “Durante el periodo de evaluación, el sistema de humedal híbrido compuesto por humedales subsuperficiales de flujo horizontal seguido de lagunas de estabilización fue el más efectivo para la remoción de carbamazepina.” (Tejeda et al., 2015) Y, “La combinación vertical-horizontal- flujo superficial son más eficientes en relación a los sistemas independientes ya que combinan procesos de remoción complementarios (biodegradación aerobia, anaerobia y fotooxidación).” (Bayona, 2018).

Otro factor que aumento este porcentaje es la presencia de plantas en el ecosistema como lo asegura Zhang *et al* (2017): “Los mesocosmos plantados siempre tuvieron una mayor remoción de ibuprofeno que los respectivos mesocosmos no plantados.”

Encontrando con mayor frecuencia plantas emergentes como lo son: Juncos (*Scirup*), carrizos (*Phragmites*), *Typhia*, Por otra parte, los humedales construidos presentan alta eficiencia de remoción, sin embargo, el porcentaje varía según el tiempo que estuvieron en el medio, su flujo, y las condiciones del ecosistema que se creó, coincidiendo con lo que dice Zhang *et al* (2017), donde mencionan que: “La tasa de eliminación de ibuprofeno se vio significativamente afectada por la influyente concentración de ibuprofeno, tipo de mesocosmos, diseño hidráulico.” (L. Zhang et al., 2017).

Se encontraron nueve estudios donde se eliminó un porcentaje de contaminantes emergentes en México siendo los fármacos los de mayor interés estando presente en siete de los ocho estudios analizados (Tabla 7).

Tabla 2 países donde se han utilizado humedales construidos como método de remoción de contaminantes emergentes

Autor	Contaminante emergente	País	% de remoción
(Delgado, 2019)	Fármacos (carbamazepina).	Argentina	Mayor
(Navarro & Durán 2019)	NA	México	NA
(Palacin <i>et al.</i> , 2019)	PPCP (fragancias (triciclododecanodimetanol (TCD), Dowanol (DB), Dihydroactinidiolide, Nerolin y Lilian)).	México	Alta eficiencia de remoción
(Bayona <i>et al.</i> , 2018)	Fármacos (Lincomicina, sulfametoxazol, diclofenaco, paracetamol), PPCP,	España	0 - 25 25 - 75

	Hormona (Acetaminofenol)		25-75
(Hopson <i>et al.</i> , 2018)	Fármacos (Atenolol y carbamazepina)	Estados Unidos de América	47 - 88
(Miceli Montecinos <i>et al.</i> , 2018)	Hormona (Difenhidramina) Fármacos	México	NA
Zurita <i>et al.</i> , 2018)	Fármacos	México	NA
(Cervantes <i>et al.</i> , 2017)	Fármacos (Ibuprofeno)	Colombia	51 – 84
(L. Zhang <i>et al.</i> , 2017)	Fármacos (Ibuprofeno)	China	15 – 99
(Herrera, 2016)	Fármacos, galaxoide, tonalide, naproxeno, alquilifenoles, monoetoxilados y dietoxilados)	México	56.06 – 92.95
(Peña & Castillo, 2015)	Fármacos naproxeno, triclosán, clorofeno y para el bisfenol A	México	ND
(Tejeda <i>et al.</i> , 2015)	Fármacos (carbamazepina).	México	55% y 36%
(Miceli Montesinos <i>et al.</i> , 2014)	Fármacos	México	
(Quin <i>et al.</i> , 2011)	Fármacos (carbamazepina, ibuprofeno, naproxeno, fenopreno y ciclofosfamida).	Estados Unidos de América	25 -91%

Colombia a mostrado interés por implementar un tratamiento alternativo como lo son los humedales para la eliminación de fármacos, PPCP's, y contaminantes emergentes derivados de la industria, debido a que sus plantas de tratamiento al igual que las de México no remueven un porcentaje significativo de estos contaminantes afectando los

ecosistemas cercanos, la implementación de estos sistemas ha permitido el contemplar otros métodos diferentes a los convencionales como lo sugiere Zhang et al. (2011). México presentó un porcentaje de remoción en los fármacos de hasta 92.95% con un humedal de flujo subsuperficial, en cambio en España Zhang *et al.*, (2017), lograron hasta un 99% de remoción de ibuprofeno con humedales de flujo horizontal, en un periodo de 30 días (Tabla 7).

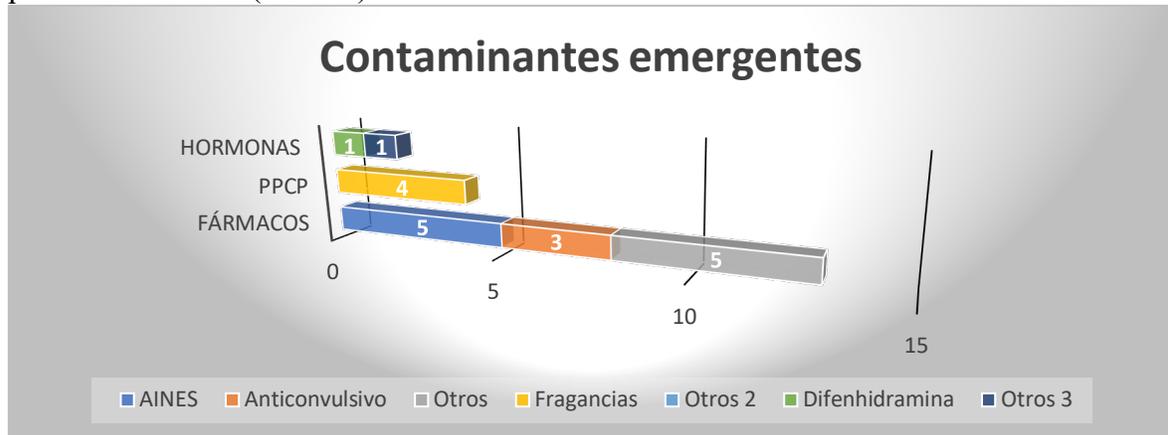


Figura 12 Contaminantes emergentes encontrados en los estudios investigados

En la figura 17 se muestran los tipos de fármacos encontrados en los estudios, los AINES fueron los que tuvieron mayor presencia, siendo encontrados en 5 estudios de los cuales en algunos casos fueron estudiados más de un AINE, el anticonvulsivo encontrado con mayor frecuencia fue la carbamazepina el cual estuvo presente en tres estudios, finalmente cinco estudios realizaron la investigación con ayuda de fármacos, sin embargo, no mencionan cual utilizaron. Los PPCP son otro contaminante emergente estudiado, se obtuvieron cuatro estudios referentes a este contaminante de los cuales todos son compuestos presentes en fragancias. Las hormonas estuvieron presentes en dos estudios en las cuales solo en uno especificaba que tipo de hormona se estudio que fue la difenhidramina.

En la tabla 8 se presentan doce estudios en los que se removieron diferentes fármacos donde se observa que los AINES son los de mayor presencia y además obtienen como resultados una variación de 0 a 99% de remoción.

Tabla 3 Porcentaje de remoción de los fármacos con HC

Contaminante emergente	Tipo de humedal	% de remoción
Fármacos	HCFSSH, HCFSSV, Hibrido	0 - 25
Fármacos	HCFSS	47 - 88
Fármacos	HC	NA
Fármacos (Ibuprofeno)	HCFV, HCFH	15 - 99

Fármacos	HCFSS	56.06 – 92.95
Fármacos naproxeno, triclosán, clorofeno.	HC	ND
Fármacos (carbamazepina).	HCFSSH y HCFSSV	Mayor
Fármacos (carbamazepina, ibuprofeno, naproxeno, fenopreno y ciclofosfamida).	HCFSS	26.7 – 93 %

Debido a que los fármacos son contaminantes de gran interés se encontraron con mayor frecuencia siendo los AINES los más frecuentes, sin embargo, también hay presencia de otros tipos de fármacos como lo son los analgésicos de los cuales obtuvieron un porcentaje del 25 al 36% como lo muestra Tejeda *et al.* (2015) y Zhang *et al.* (2011). Los humedales construidos híbridos presentan mayor porcentaje de remoción, sin embargo, los humedales de flujo subsuperficial horizontal fueron los más utilizados.

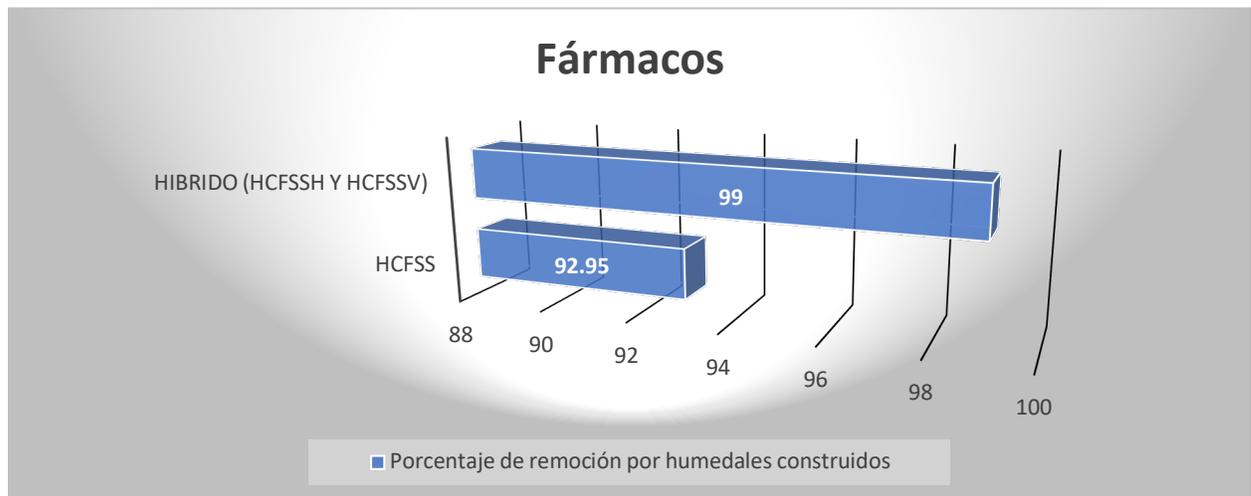


Figura 13 Porcentaje de remoción de fármacos a través de diferentes HC.

La figura 18 muestra gráficamente que los humedales construidos de flujo híbrido remueven hasta un 99% y en cambio los humedales construidos de flujo subsuperficial tienen un porcentaje de remoción del 92.95%.

En la tabla 8 se muestran los resultados de tres estudios donde se obtiene hasta un 85% de remoción de los PPCP's.

Tabla 4 Porcentaje de remoción de PPCP con HC

Contaminante emergente	Tipo de humedal	% de remoción
------------------------	-----------------	---------------

PPCP	HCFSSH y HCFSSV	Mayor y menor al 10%
PPCP (fragancias (triclododecanodimetanol (TCD), Dowanol (DB), Dihydroactinidiolide, Nerolin y Lilian)).	HCFSSH y HCFSSV, Hibrido	Alta eficiencia de remoción
PPCP,	HCFSSH, HCFSSV, Hibrido	25 – 75
PPCP (galaxoide, alquilifenoles, monoetoxilados y metil dihidrojasmonato)	HCFSS	40 – 98%

Herrera (2016), es quien presentó la remoción con mayor porcentaje con un 98% con la ayuda de humedales construidos de flujo subsuperficial (HCFSS). Bayona (2018), obtuvo un porcentaje de hasta 75% con diferentes tipos de flujo en sus humedales en los cuales tuvo un tiempo de residencia hidráulica variante comenzando con 2 hasta 30 días y una alimentación pulsante a una temperatura ambiente. A diferencia de Delgado (2019), que el tratamiento presento una pertinza con un bajo porcentaje (10%) de remoción debido a que no se lograba tener una estabilidad en la alimentación del humedal ni lograr una adaptación del medio además de que se presentaron problemas durante el periodo de operación de los humedales como lo fueron fugas en los adaptadores, en las líneas de alimentación ocasionando que esta no tuviera un flujo estable y por consecuente tampoco presento un flujo de salida estable.

A continuación, se muestra en la tabla 10 los estudios donde se removieron hormonas a través de dos sistemas de humedales en los cuales el humedal hibrido presenta mayor remoción que el HCFSS.

Tabla 5 Porcentaje de remoción de hormonas con HC

Contaminante emergente	Tipo de humedal	% de remoción
Hormona	Hibrido	25-75
Hormona (Difenhidramina)	HCFSS	Sin significancia

Hopson *et al.* (2018), utilizó los mismos humedales durante un periodo de 4, 8 y 12 meses en los cuales el porcentaje de remoción no vario significativamente concluyendo que las plantas ya estaban saturadas y no lograron remover un porcentaje representativo, a diferencia de Bayona et al. (2018), que obtuvo una remoción de hasta el 75% con HC de flujo hibrido en el cual el tiempo de retención hidráulica aumentó la eficiencia de remoción así como la alimentación fue saturada por momentos específicos influyendo en la cantidad de removimiento de la hormona estudiada.

6. Productos generados

Se obtuvieron un total de 3 alumnos titulados del programa de Licenciatura en Ingeniería Ambiental. Se adjunta copia de los dictámenes de evaluación de su proyecto en el apartado de anexos.

7. Conclusiones

Entre la categoría de contaminantes emergentes, son los fármacos los que presentan mayor cantidad de estudios en comparación a los PPCP u hormonas. La categoría de los fármacos es extensiva. Los AINES es la categoría farmacológica que se presenta con mayor ocurrencia en los estudios, debido a que estos compuestos son de libre acceso, es decir, su venta es libre sin receta médica, por lo cual es sencillo adquirirlos y consumirlos, por lo que es necesario eliminarlos de nuestros recursos hídricos ya que presentan propiedades de bioacumulación y biomagnificación por lo cual, nuestros ecosistemas no tienen el tiempo necesario para asimilarlos debido a que la entrada de este contaminante es indiscriminada.

Los HC son una alternativa viable para utilizarse como método secundario o terciario y eliminar contaminantes emergentes de nuestros recursos hídricos, el porcentaje de remoción puede variar dependiendo a las características del humedal, al tipo de flujo, sustrato, presencia de plantas, tiempo de remoción de acuerdo con la revisión bibliográfica realizada.

Por último, como se mencionó anteriormente, debido a la situación de crisis sanitaria por la pademia de COVID 19 que se presenta desde hace casi 2 años, toda la parte experimental que se iba a implementar en este proyecto tuvo que ser cancelada, por lo que solamente se pudo realizar una revisión sistemática de la literatura.

8. Contribución e impacto del proyecto

Se hizo una evaluación sistemática de las alternativas de viables y económicas que se puedan implementar en los sistemas de tratamiento de agua convencionales para remover contaminantes emergentes en agua residual.

9. Impacto económico, social y/o ambiental en la región

Se espera que, de llevarse a cabo la parte experimental del proyecto una vez que las condiciones de pandemia lo permitan, se pueda contribuir a la mejora de la calidad del agua de segundo uso en la zona del Valle de Juárez.

10. Referencias (bibliografía)

1. Newman, M (2015). Fundamentals of Ecotoxicology: The science of pollution. Florida, Estados Unidos: Taylor & Francis Group, LLC.

2. Petrovic, M., Gonzalez, S., Barceló, D. (2003) Analysis and removal of emerging contaminants in wastewater and drinking water. *Trends in Analytical Chemistry* 22 (10) 685-696
3. White, J., Belmont, M., Metcalfe, C. (2006) Pharmaceutical compounds in wastewater: Wetland Treatment as a potential solution. *The Scientific World Journal* 6, 1731-1736
4. Verhoeven, J. T.A. y Meuleman, A. F.M. (1999) Wetlands for wastewater treatment: opportunities and limitations. *Ecological Engineering* 12. 5-12
5. Russo, N., Marzo, A., Randazzo, C., Caggia, C., Toscano, A., Cirelli, G. (2019) Constructed wetlands combined with disinfection systems for removal of urban wastewater contaminants. *Science of the total environment*. 66. 558-566.
6. Hijosa-Valsero, M., Matamoros, V., Sidrach-Cardona, R., Martín-Villacorta, J., Bécares, E., Bayona, J., (2010) Comprehensive assessment of the design configuration of constructed wetlands for the removal of pharmaceuticals and personal care products from urban wastewaters. *Water Research* 44, 3669-3678
7. Cancelli, A., Gobas, F., Wang, Q., Kelly, B. (2019) Development and evaluation of a mechanistic model to assess the fate and removal efficiency of hydrophobic organic contaminants in horizontal subsurface flow treatment wetlands. *Water Research*. 151 183-192
8. Zhang, D., Gersberg, R., Hua, T., Zhe, J., Anh, N., Keat, S., (2012) Pharmaceutical removal in tropical subsurface flow constructed wetlands at varying hydraulic loading rates. *Chemosphere* 87. 273-277
9. Zhang, D. Q., Tan, S. K., Gersberg, R. M., Sadreddini, S., Zhu, J., Tuan, N. A. (2011) Removal of pharmaceutical compounds in tropical constructed wetlands. *Ecological Engineering*. 37. 460-464.
10. Chen, J., Liu, Y., Deng, W., Ying, G. (2019) Removal of steroid hormones and biocides from rural wastewater by an integrated constructed wetland. *Science of the Total Environment*. 660. 358-365
11. Auvinen, H., Havran, I., Hubau, L., Vanseveren, L., Gebhardt, W., Linnemann, V., Oirschot, D. V., Laing, G. D. Rousseau, D. P.L. (2017) Removal of pharmaceuticals by a pilot aerated sub-surface flow constructed wetland treating municipal and hospital wastewater. *Ecological Engineering*. 100. 157-164.
12. Kümmerer, K. (2001). Drugs in the environment: emission of drugs, diagnostic aids and disinfectants into wastewater by hospitals in relation to other sources – a review. *Chemosphere*. 45. 957-969.
13. Sim, W.J., Lee, J.W., Lee, E.S., Shin, S.K., Hwang, S.R., Oh, J.E. (2001) Occurrence and distribution of pharmaceuticals in wastewater from households, livestock farms, hospitals and pharmaceutical manufactures. *Chemosphere*. 82, 179-186.
14. Newman, M. 2014 *Fundamentals of ecotoxicology: the science of pollution* (4th ed.). Florida, Estados Unidos: Taylor & Francis Group, LLC.
15. Arnold, K., Brown, R., Ankley, G., Sumpter, J. (2014). *Medicating the environment: assessing risks of pharmaceuticals to wildlife and ecosystems*. Royal Society. 369. 1-11
16. Knight, R. (1997) Wildlife habitat and public use benefits of treatment wetlands. *Water science technology*. 35 (5). 35-43

17. Kemmer, F. N., McCallion, J. (1982) Manual del agua: su naturaleza, tratamiento y aplicaciones. Estado de México, México: McGraw-Hill de México.
18. Gleick, P. H. (1998) The human right to water. *Water policy*. 1. 487-503.
19. Manahan, S. E. (2007) Introducción a la química ambiental. Distrito federal, México: Reverté ediciones.
20. Bolong, N., Ismail, A.F., Salim, M.R., Matsuura, T. (2008) Review of the effects of emerging contaminants in wastewater and options for their removal. *Desalination*. 239. 229-246.
21. Ternes, T., Joss, A., Siegris, H. (2004) Scrutinizing pharmaceuticals and personal care products in wastewater treatment. *Environmental science and technology*. 392-A-399A
22. Mompelant, S., Biot, B.L., Thomas, O. (2009) Occurrence and fate of pharmaceutical products and by-products, from resource to drinking water. *Environmental International*. 35. 803-814.
23. European Chemicals Agency <https://echa.europa.eu/es/home> último día de consulta 24 de octubre de 2019.
24. Ebele, A. J., Abdallah, M.A.E., Harrad, S. (2016) Pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in freshwater aquatic environment. *Emerging contaminants*. 1-16.
25. Martínez-Gómez, D.A., Baca, S., Walsh, E.J. (2014) Lethal and sublethal effects of selected PPCPs on the freshwater rotifer, *Platyonus patulus*. *Environmental Toxicology Chemistry*. 34. 913-922.
26. Aguilar-Gutiérrez, J.A. (2018) Remoción de bisfenol A con filtros de arcilla y carbón activado (Tesis Licenciatura) Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Chihuahua, México.
27. Huber, S., Remberger, M., Kaj, L., Schlabach, M., Jörundsdóttir, H., Vester, J., Arnórsson, M., Mortensen, I., Shwartson, R., Dam, M. 2016. A first and risk assessment of pharmaceuticals and additives in personal care products in wastewater, sludge, recipient water and sediment from Faroe Islands, Iceland and Greenland. *Science of the Total Environment*. 562. 13-25.
28. Radjenovic, J., Petrovic, M. y Barceló, D. 2009. Fate and distribution of pharmaceuticals in wastewater and sewage sludge of the conventional activated sludge (CAS) and advanced membrane biorreactor (MBR) treatment. *Water Research*. 43. 831-841.
29. Stamatis, N. y Konstantinou, I. 2013. Occurrence and removal of emerging pharmaceutical, personal care compounds and caffeine tracer in municipal sewage treatment plant in Western Greece. *Journal of Environmental Science and Health Part B*. 48. 800-813.
30. Ali, A., Thorsen, H., Al Arif, W., Kallenborn, R., Al-Lihaibi, S. 2017. Occurrence of pharmaceuticals and personal care products in effluent-dominated Saudi Arabian coastal waters of the Red Sea. *Chemosphere*. 175. 505-513.
31. Kuch, H., Ballschmiter, K. 2001. Endocrine-Disrupting phenolic compounds and estrogens in surface and drinking water by HRGC -(NCI)- MS in the picogram per liter range. *Environmental Science and Technology*. 35(15). 3201-326.

32. Cruz-Guzmán, M. 2007. La contaminación de suelos y aguas. Su prevención con nuevas sustancias naturales. Sevilla, España: Publicaciones de la Universidad de Sevilla.
33. Cervantes, S. (2015) Evaluación de la remoción de ibuprofeno, mediante humedales de flujo subsuperficial horizontal (Tesis Licenciatura). Tecnológico de Costa Rica, Cartago
34. Oller, I., Malato, S., Sánchez-Pérez, J. 2011. Combination of advanced oxidation processes and biological treatments for water decontamination. *Science of the Total Environment*. 409. 4141-4166.
35. De la Cruz, N., Giménez, J., Esplugas, S., Grandjean, D., de Alencastro, L.F., Pulgarín, C. (2012) Degradation of 32 emergent contaminants by UV neutral photo-fenton in domestic wastewater effluent previously treated by activated sludge. *Water Research* 46. 1947-1957.
36. De la Cruz, N. (2013). Estudio de la eliminación de contaminantes emergentes en aguas mediante procesos de oxidación avanzados (Tesis doctorado). Universidad de Barcelona, Barcelona, España.
37. Suárez, S., Carballa, M., Omil, F., Lema, J. 2008. How are pharmaceutical and personal care products (PPCPs) removed from urban wastewaters?. *Environmental Science and Biotechnology*. 7. 125-138
38. Yang, X., Flowers, R., Weinberg, H., Singer, P. 2011. Occurrence and removal of pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in an advanced wastewater reclamation plant. *Water Research*. 45. 5218-5228
39. Li, Y., Zhu, G., Ng, W. J., Tan, S. K. (2014) A review on removing pharmaceutical contaminants from wastewater by constructed wetlands: Design, performance and mechanism. *Science of the Total Environment*. 468-469. 908-932
40. Moshiri, G. (1993) Constructed wetlands for water quality improvement. CRC Press, Inc. Florida, Estados Unidos.
41. Brix, H. (1994) Functions of macrophytes in constructed wetlands. *Water Science Technology*. 29 (4). 71-78.
42. Stottmeister, U., Wiebner, A., Kusch, P., Kappelmeyer, U., Kästner, M., Bederski, O., Müller, R. A., Moormann, H. (2003) Effects of plants and microorganisms on constructed wetlands for wastewater treatment. *Biotechnology advances*. 22. 93-117.
43. EPA Environmental Protection Agency (2007) Method 1694: Pharmaceuticals and personal care products in water, soil, sediment, and biosolids by HPLC/MS/MS
44. Xu, T., Weng, B., Yan, D., Wang, K., Li, X., Bi, W., Li, M., Cheng, X., Liu, Y. 2019. Wetlands of international importance: Status, Threats and future protection. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 16. 1818. 1-23
45. Zhu, D., Ryan, C., Gao, H. 2019. The role of water and mass balances in treatment assessment of a flooded natural wetland receiving wastewater effluent (Frank Lake, Alberta, Canada. *Ecological Engineering*. 137. 34-45

46. Norma Mexicana. NMX-AA-SCFI-2013 Análisis de agua – medición de sólidos sedimentables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – Método de prueba.
47. Norma Mexicana NMX-AA-034-SCFI-2015 Análisis de agua – medición de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – método de prueba
48. Norma Mexicana NMX-AA-012-SCFI-2001 Análisis de agua – Determinación de oxígeno disuelto en agua naturales, residuales y residuales tratadas – método de prueba
49. Norma Mexicana NMX-AA-028-SCFI-2001 Análisis de agua – determinación de la demanda bioquímica de oxígeno en aguas naturales, residuales (DBO5) y residuales tratadas – Método de prueba
50. Norma Mexicana NMX-AA-030/2-SCFI-2011 Análisis de agua – determinación de la demanda química de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – método de prueba – parte 2 – determinación del índice de la demanda química de oxígeno – método de tubo sellado a pequeña escala
51. Norma Mexicana NMX-AA-038-SCFI-2011 Análisis de agua – determinación de turbiedad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – método de prueba
52. Norma Mexicana NMX-AA-072-SCFI-2001 Análisis de agua – determinación de dureza total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – método de prueba
53. Norma Mexicana NMX-AA-073-SCFI-2001 Análisis de agua – determinación de cloruros totales en aguas naturales, residuales y residuales tratadas- método de prueba
54. Norma Mexicana NMX-AA-026-SCFI-2001 Análisis de agua – determinación de nitrógeno total Kjeldahl en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – método de prueba
55. Rathahao, E., Hillenweck, A., Paris, A., Debrauwer, L. 2000. Investigation of the in vitro metabolism of 17 β -estradiol by LC-MS/MS using ESI and APCI. ANALUSIS. 28. 4. 273-279.
56. Muñoz, C. E., Chaparro, T. R. 2013 Combinación de procesos de oxidación avanzada y procesos anaerobios para tratamiento de aguas residuales hospitalarias. Afinidad LXXI. 565. 63-67
57. Llorca, J., San Juan, L., Gomez, M. 2015. Determinación de compuestos emergentes en efluentes hospitalarios. Salud Ambiental. Memoria de congreso XII Congreso Español de Salud Ambiental. 12-64
58. Paz, M.,Magdaleno, A., Tornello, C., Balbis, N., Moretton, J. 2008. Genotoxicidad y determinación de compuestos tóxicos en un residuo líquido hospitalario de Buenos Aires, Argentina. Revista Internacional Contaminación Ambiental. 24 (2) 79-87.
59. Magdaleno, A., Juárez, A. B., Paz, M., Tornello, C., Núñez, L., Moretton, J. 2012. Evaluación ecotóxica y genotóxica de aguas residuales hospitalarias. Acta toxicológica Argentina. 20 (1). 14-24
60. Soledad-Rodríguez, B. E. 2017. Empleo de polímeros de impronta molecular como concentradores de muestras en el análisis químico de trazas. Tekhné. 20 (2). 003-022

11. Anexos

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIUDAD JUÁREZ

INSTITUTO DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental

Programa de Ingeniería Ambiental

Los miembros del Comité Evaluador, nombrado por la Academia del Programa de Ingeniería Ambiental, habiendo realizado la evaluación del proyecto de titulación “Comparación de sistemas de tratamiento convencionales y sistemas de tratamiento por humedales construidos: Una revisión de la literatura” que presenta la C. Mileva Noemí Cárdenas Ríos, con matrícula 140299, como requisito parcial para acreditar la materia de Proyecto de titulación, manifiestan que ha obtenido una calificación de: 5.86 / 6 puntos posibles (2.93 / 3 documento escrito; 2.93 / 3 presentación).



Director

Dr. Luis Gerardo Bernadac Villegas



Evaluador

Dra. Marisela Soto Padilla



Evaluador

Dr. Gilberto Velázquez Angulo

Ciudad Juárez, Chih., a 18 de noviembre de 2020

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIUDAD JUÁREZ

INSTITUTO DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental

Programa de Ingeniería Ambiental

Los miembros del Comité Evaluador, nombrado por la Academia del Programa de Ingeniería Ambiental, habiendo realizado la evaluación del proyecto de titulación **“Metodologías para el tratamiento de Diclofenaco en aguas residuales: Una revisión de la literatura”** que presenta la C. Estefanía Rodríguez Monroy, con matrícula 140276, como requisito parcial para acreditar la materia de Proyecto de titulación, manifiestan que ha obtenido una calificación de: 5.76 / 6 puntos posibles (2.88 / 3 documento escrito; 2.88 / 3 presentación).



Director

Dr. Luis Gerardo Bernadac Villegas



Evaluador

Dra. Marisela Soto Padilla



Evaluador

Dr. Gilberto Velázquez Angulo

Ciudad Juárez, Chih., a 18 de noviembre de 2020

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIUDAD JUÁREZ

INSTITUTO DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental

Programa de Ingeniería __Ambiental__

Los miembros del Comité Evaluador, nombrado por la Academia del Programa de Ingeniería __Ambiental__, habiendo realizado la evaluación del proyecto de titulación ____ COMPARACIÓN DE TÉCNICAS CROMATOGRÁFICAS (GC-MS Y LC-MS) PARA LA DETERMINACIÓN DE FÁRMACOS TIPO AINE'S EN AGUAS RESIDUALES, que presenta el(la) C. __Raúl Armando Méndez Suárez_ con matrícula _145690_, como requisito parcial para acreditar la materia de Proyecto de Titulación II, manifiestan que ha obtenido una calificación de: 5.9/6 puntos posibles (2.9/3 documento escrito; 3/3 presentación).



Director

Dr. Luis Gerardo Bernadac Villegas



Evaluador

Dr. Miguel Domínguez Acosta



Evaluador

Dr. Humberto Rubi Juárez

Ciudad Juárez, Chih., a 19 de noviembre de 2020

11.1 Taxonomía de los Roles de Colaborador (con las actividades logradas)

Roles	Definición de los roles	Nombre de él(la) investigador(a)	Figura	Grado de contribución	Actividades logradas durante el proyecto	Tiempo promedio semanal (en horas) dedicado al proyecto
Responsable de dirección de proyecto	Coordinar la planificación y ejecución de la actividad de investigación. Organiza los roles de cada colaborador, tiene la habilidad de identificar potenciales de cada individuo para generar una sinergia de equipo colaborativo.	Luis Gerardo Bernadac Villegas	Director	Apoyo	Asesoría en la revisión sistemática de la literatura	2 horas
Responsable supervisión de proyecto	Elaborar la planificación de las actividades de la investigación (cronogramas y controles de seguimiento), describe los roles identificados por el director del proyecto y facilita el apoyo constante a todos los roles para conseguir un trabajo integral, coherente y que llegue a buen término.	Miguel Domínguez Acosta	Supervisor	Apoyo	Asesoría en la revisión sistemática de la literatura	1 horas
Responsable supervisión de proyecto	Elaborar la planificación de las actividades de la investigación (cronogramas y controles de seguimiento), describe los roles identificados por el director del proyecto y facilita el apoyo constante a todos los roles para conseguir un trabajo integral, coherente y que llegue a buen término.	Humberto Rubí Juárez	Supervisor	Apoyo	Apoyo en la redacción de las revisiones sistemáticas realizadas.	1 horas

11.1.1 Estudiantes participantes en el proyecto

Nombre de estudiante(s)	Matrícula	Tiempo promedio semanal (en horas) dedicado al proyecto	Actividades logradas en la ejecución del proyecto
Mileva Cárdenas	140299	4 horas	Revisión de la literatura, redacción de documento y presentación de proyecto de titulación
Estefanía Rodríguez	140276	4 horas	Revisión de la literatura, redacción de documento y presentación de proyecto de titulación
Raúl Méndez	145690	4 horas	Revisión de la literatura, redacción de documento y presentación de proyecto de titulación