



BENÉMERITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA



INSTITUTO DE CIENCIAS

POSGRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

“La tierra no es de nosotros, nosotros somos de la tierra”

TESIS

“Estudio exploratorio de la adsorción de ibuprofeno como contaminante emergente en cultivos hidropónicos de dos variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L) y acelga (*Beta vulgaris*)”.

MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES

Presenta:

Mayra Canchola Cortes

Directora de Tesis:

Dra. María Guadalupe Tenorio Arvide

Co-asesor

Dr. Rolando Rueda Luna

Noviembre, 2021

Agradecimientos

Se agradece a la Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado por el apoyo otorgado para la conclusión de esta tesis dentro del programa IV. Investigación y Posgrado. Apoyar a los programas de posgrado para lograr su incorporación al padrón nacional de calidad. Indicador establecido en el plan de desarrollo Institucional 2017-2021.

Un profundo agradecimiento a la Dra. Tenorio que siempre me mostró su apoyo y paciencia, al Dr. Rolando y a la maestra Miriam que fueron parte fundamental para el desarrollo del proyecto.

Mil gracias a mi parcerita linda, Geral gracias por acompañarme en esta etapa, por impulsarme y motivarme a dar lo mejor de mí, te llevo en mi corazón, me enseñaste lo que es una amistad sincera e incondicional, estoy en deuda contigo.

Mariel, amiga mía, siempre tenías las palabras de aliento en esos momentos en los que sentía que ya no podía más, muchísimas gracias.

Gracias infinitas a mis padres, este logro también es suyo, sin ustedes no sería la mujer que soy ahora.

Mi hermanita, así la más chiquita, mi compañera de vida, mil gracias por siempre estar.

Emmanuel, gracias por el impulso, la motivación y por las cosas bonitas que siempre me diste, me marcaste.

Mis amigos que siempre estuvieron a mi lado, que nunca dudaron de mí, me alentaron y me consolaron.

Bebe panito esta va por ti, desde ahora ya te amo.

Índice

Estudio exploratorio de la adsorción de ibuprofeno como contaminante emergente en cultivos hidropónicos de lechuga (*Lactuca sativa L*), y acelga (*Beta vulgaris*).

I. Introducción	4
II. Planteamiento del problema	6
III. Justificación	8
IV. Pregunta e Hipótesis	9
4.1 Pregunta de investigación.....	9
4.2 Hipótesis de investigación	9
V. Objetivos	10
5.1. Objetivo general.....	10
5.2. Objetivos específicos	10
VI. Antecedentes.....	11
6.1 ¿Qué son los contaminantes emergentes?.....	11
6.2 Primeros reportes	11
6.3 Contaminantes emergentes en agua.....	12
6.4 Clasificación y propiedades químicas de los contaminantes emergentes....	13
6.4.1 Retardantes de llama bromados	14
6.4.2 Parafinas cloradas.....	15
6.4.3 Pesticidas polares	16
6.4.4 Compuestos perfluorados	17
6.4.5 Drogas.....	18
6.4.6 Productos de cuidado personal	18

6.4.7 FÁRMACOS	19
6.5 Ibuprofeno	21
6.5.1 Propiedades fisicoquímicas del Ibuprofeno	22
6.5.2 Presencia de Ibuprofeno en agua	24
6.5.3 Presencia de Ibuprofeno en suelo	25
6.5.4 Técnicas de eliminación para ibuprofeno y otros contaminantes emergentes	27
- Tratamientos fisicoquímicos.....	28
- Procesos de oxidación avanzada (POA).....	30
- Tratamientos biológicos	32
- Tecnologías híbridas.....	32
VII. Lechuga y acelga.....	34
7.1 Lechuga	35
7.1.1 Taxonomía	35
7.1.2 Morfología	36
7.1.3 Producción de lechuga en México y en el mundo.....	36
7.2 La acelga	39
8.2.1 Taxonomía	39
7.2.2 Morfología	40
7.2.3 Variedades de acelga.....	40
7.2.4 Producción de acelga en México	41
VIII. Seguridad alimentaria.....	41
IX. Marco legal	43
X. Metodología	45
10.1 Localización del estudio.....	45

10.2 Desarrollo experimental	46
10.3 Revisión bibliográfica sobre seguridad alimentaria.....	50
XI. Resultados y discusión.....	52
Resultados de la producción de hortalizas en sistema recirculante	53
XII. Conclusiones.....	57
XIII. Referencias	59

Índice de figuras

Figura 1. Sistemas para el tratamiento de aguas modificado de aguas modificado de (Patiño et al., 2014). 28	
Figura 2. Esquema de tratamiento de agua mediante coagulación y floculación (Peñalver, 2020).....	30
Figura 3. Producción nacional 2010-2019 Fuente: SAGARPA, 2020.....	38
Figura 4. Macrotúnel para el establecimiento del cultivo hidropónico.....	52
Figura 5. Semilla peletizada de lechuga y acelga.....	45
Figura 6. Almacigo en crecimiento-sustrato perlita.....	46
Figura 7. Almacigo listo para el trasplante en cama flotante	46
Figura 8. Sistema de cama flotante	47
Figura 9. Sistema recirculante	52
Figura 10. Sistema recirculante.....	62

Estudio exploratorio de la adsorción de ibuprofeno como contaminante emergente en cultivos hidropónicos de lechuga (*Lactuca sativa L*), y acelga (*Beta vulgaris*).

I. Introducción

En la actualidad existen factores como la urbanización, la globalización e incluso el cambio climático que condicionan la calidad y disponibilidad de los recursos naturales, algunos esenciales para el desarrollo de actividades antropogénicas, que sustentan la vida (Beltrán et al., 2020).

El desecho inadecuado de fármacos y sus residuos, así como productos utilizados para la limpieza del hogar o el aseo personal, son una fuente importante de contaminación acuática, estas sustancias producidas como consecuencia de actividades antropogénicas son conocidas como contaminantes emergentes (CE) y su principal medio de movilidad es el agua residual (Henriquez, 2012).

Los contaminantes emergentes también conocidos como microcontaminantes orgánicos, son sustancias de diferente naturaleza química, provenientes de distinto origen, que se encuentran en pequeñas concentraciones en el medio donde sus posibles efectos ecotóxicos, comportamiento y permanencia en el ecosistema son poco conocidos (Reinoso et al., 2017); por otro lado han sido catalogados de diferentes maneras entre las cuales se encuentran los productos farmacéuticos, incluyendo medicamentos de uso veterinario y humano, productos de cuidado personal (PCP): cremas faciales, fragancias, cosméticos, desodorantes, pasta de dientes; además de drogas de uso recreativo (metaanfetaminas) (Boxall et al., 2012; Cartagena, 2011).

Los fármacos se consideran como contaminantes emergentes debido a su reciente detección principalmente en medios acuáticos, su incipiente regulación, así como

sus potenciales efectos adversos para la salud humana y con un importante impacto ecológico (Rivera et al., 2013).

La elevada producción, el consumo indiscriminado, y la mala disposición de medicamentos caducos contribuyen a su continua introducción al medio ambiente, se caracterizan por la bioacumulación en ecosistemas y seres vivos, son capaces de biomagnificarse lo que les permite incorporarse y potencializarse en la cadena trófica, la movilidad ambiental que se observa en la translocación de estos componentes tóxicos a otros compartimentos ambientales como agua o suelo, otra problemática es la generación de subproductos o metabolitos que son resultado de la metabolización, ya que pueden reaccionar con otros compuestos en el medio, creando un efecto sinérgico (Hernando et al., 2006).

La permanencia de compuestos farmacéuticos como los antiinflamatorios no esteroideos (AINEs) en matrices acuáticas, está relacionada con la ineficiencia de las plantas tratadoras de agua para su eliminación (Moreno-Ortiz et al., 2013), como consecuencia, muchas sustancias químicas no son removidas en su totalidad, afectando la calidad de agua; por otro lado, otros factores como el alto consumo de medicamentos, en particular sin receta médica, empeora su incorporación e incidencia en el ambiente (Tejada et al., 2014).

En la última década, los contaminantes emergentes se han reportado en concentraciones traza en aguas residuales, aguas superficiales, aguas subterráneas, incluyendo los suministros de agua potable, reconociéndolos incluso en suelos agrícolas (Hou et al., 2018), de esta manera productos agrícolas como las hortalizas pueden adsorber y acumular fármacos llegando a alterar la cadena trófica, a través de su consumo (Ebele et al., 2017); sin embargo, a pesar de su persistencia, aún no han sido regulados ni reglamentados, y no existen normativas para los límites permitidos en la mayoría de los países, incluyendo México (García- Gómez et al., 2011).

Se ha demostrado en estudios recientes, que las hortalizas son capaces de adsorber contaminantes emergentes como antibióticos, antiinflamatorios no esteroideos (AINEs) y antidepresivos, por lo que la bioacumulación y traslocación

en sus tejidos implica un alto riesgo para la salud del hombre ya que forman parte de una dieta balanceada (Hurtado et al., 2017).

Los alimentos contaminados por sustancias químicas pueden pasar fácilmente desapercibidos ya que muchas de las veces no cambian ninguna de sus características organolépticas (Ortega et al., 2002), del mismo modo la calidad de los alimentos principalmente de las hortalizas se ha visto mermada por la adsorción de contaminantes emergentes (Margenat et al., 2017; Reinoso et al., 2017), ya que el consumo de hortalizas contaminadas compromete la seguridad alimentaria donde uno de sus principios es el abastecimiento de alimentos inocuos para todos (CONEVAL, 2010).

La preocupación por los contaminantes emergentes se extiende a temas como seguridad alimentaria, considerada en el objetivos el objetivo n° 2 “HAMBRE CERO de la AGENDA 2030 (ONU, 2016),” donde lograr la seguridad alimentaria, mejorar la nutrición y promover la agricultura sostenible; la calidad en los alimentos es uno de los indicadores que se toman en cuenta para medir la seguridad alimentaria.

La definición de seguridad alimentaria establecida por la FAO (2009) “explica que la seguridad alimentaria existe cuando todas las personas tienen en todo momento acceso físico y económico a suficientes alimentos inocuos y nutritivos para satisfacer sus necesidades alimenticias y sus preferencias en cuanto a los alimentos, a fin de llevar una vida activa y sana”.

Una vez establecidos los vínculos existentes entre la contaminación emergente y la seguridad alimentaria, es importante mencionar que este estudio exploratorio se enfocará principalmente en observar la adsorción de ibuprofeno como contaminante emergente en cultivos hidropónicos de lechuga (*Lactuca Sativa*), acelga (*Beta vulgaris*) y estudiar la relación entre los contaminantes emergentes y la seguridad alimentaria.

II. Planteamiento del problema

En el ciclo de uso y desecho de fármacos como el ibuprofeno, llegan a instalarse en diferentes compartimientos del medio ambiente, incluso se han detectado en agua

potable, de esta manera hortalizas cultivadas también pueden estar en contacto con estos componentes farmacéuticos, la aparición de estos contaminantes en los alimentos que son consumidos de forma habitual como lechuga, zanahoria, col, espinaca, acelga entre otras hortalizas es una problemática que debería de estudiarse a profundidad (Ebele et al., 2017; Reinoso et al., 2017).

En fauna acuática se ha observado que la acumulación de estos compuestos desencadena la inhibición en fertilidad e incluso se han reportado casos de hermafroditismo (Campos et al., 2017; Ramírez-Sánchez et al., 2015).

En México la legislación acerca de los contaminantes emergentes aún es escasa, y esto repercute en la poca consciencia en su consumo y producción (Aguilar, 2013); La regulación de estas sustancias se ha convertido en un gran reto debido a la poca información al respecto, además que establecer límites permisibles para cientos de sustancias es prácticamente imposible (Tejada et al., 2014).

Las implicaciones a la salud por el consumo de alimentos contaminados, son inciertas, por un parte compromete la seguridad alimentaria de la población, y por otro lado el consumo constante en baja concentraciones en alimentos con capacidad de acumulación de sustancias tóxicas, puede ser un factor para enfermedades degenerativas como cáncer y diabetes, la acumulación en tejidos grasos, provocando alteraciones en su funcionamiento, además, algunos fármacos funcionan como disruptores endocrinos, la exposición a los mismos desencadena una alteración o bloqueo en el sistema endocrino, perturbando funciones hormonales, y en el caso de los antibióticos pueden generar resistencia antibiótica (Aguilar, 2013).

III. Justificación

Los estudios existentes respecto a la presencia de productos y subproductos farmacéuticos y de cuidado personal en el ambiente, se enfocan en aguas tratadas, así como en plantas de tratamiento, con especial énfasis en los procesos y eficiencias de remoción de los mismos, sin embargo, reconocer el ciclo de estos compuestos en el ecosistema, es decir, cual es el destino final y sus repercusiones, puede contribuir a darles un mejor manejo a estas sustancias.

Las consecuencias a corto y largo plazo que tendrá la exposición de fármacos destacando los antiinflamatorios no esteroideos a través del consumo de hortalizas contaminadas o en agua potable, deja clara la importancia de su estudio detallado, así como el análisis de los riesgos para la salud (Becerril, 2009).

Por otro lado, es necesario garantizar la salud alimentaria como está estipulado en los objetivos de la agenda 2030 (ONU, 2016), uno de los acuerdos referidos es la calidad en los alimentos por lo cual asegurar vegetales frescos e inoocuos para llevar una dieta saludable y balanceada, resulta indispensable, debido a que son una fuente de nutrientes esenciales, minerales y elementos traza.

La distribución generalizada de fármacos como contaminantes en el ciclo del agua puede conducir a su incorporación en diferentes compartimientos ambientales particularmente en cultivos, por ende la seguridad alimentaria, lo que representa un riesgo potencial para el consumo humano, por ello la necesidad de ampliar el conocimiento, conocer que cantidad de contaminante se adsorbe en alimentos, en este caso particular, en hortalizas.

La aportación de este tipo de estudios es fundamental para la generación de conocimiento en las ciencias ambientales, debido a la complejidad que implican, ya que no solo se habla del impacto en los recursos naturales, sino también del impacto de estos alimentos en aspectos de salud, intentando enfatizar en hacer uso responsable de los productos que lo dañan el ambiente en general.

IV. Pregunta e Hipótesis

4.1 Pregunta de investigación

*¿Qué cantidad de ibuprofeno como contaminante emergente puede ser adsorbido en cultivos hidropónicos de lechuga (*Lactuca sativa*) y acelga (*Beta vulgaris*)?*

4.2 Hipótesis de investigación

- La lechuga (*Lactuca sativa*) y la acelga (*Beta vulgaris*) expuestas a una solución de concentración conocida de ibuprofeno son capaces de adsorber ibuprofeno.

V. Objetivos

5.1. Objetivo general

- Realizar un estudio exploratorio de la adsorción de ibuprofeno como contaminante emergente en cultivos hidropónicos de lechuga (*Lactuca Sativa*) y acelga (*Beta vulgaris*), y el impacto del contaminante en la seguridad alimentaria

5.2. Objetivos específicos

- Establecer las condiciones para el cultivo hidropónico de lechuga (*Lactuca Sativa*) y acelga (*Beta vulgaris*).
- Analizar la adsorción de ibuprofeno en lechuga y acelga cultivadas en hidroponía.
- Analizar la problemática de la presencia de contaminantes emergentes en hortalizas y la seguridad alimentaria.

VI. Antecedentes

6.1 ¿Qué son los contaminantes emergentes?

Los contaminantes emergentes comprenden una extensa variedad de sustancias químicas caracterizadas por su amplia distribución y persistencia debido a su uso masivo en el día a día para diferentes propósitos (Carvalho & Santos, 2016). Las concentraciones reportadas principalmente en cuerpos de agua son mínimas (ngL^{-1} a μgL^{-1}), sin embargo, son suficientes para ser considerados como perjudiciales para la salud humana y del medio ambiente (Patiño et al., 2014).

La problemática alrededor de estos compuestos surge debido a que las plantas depuradoras no consiguen removerlos en su totalidad, por lo que ecosistemas acuáticos se encuentran altamente contaminados, ya que son vertidos desechos industriales, urbanos y subproductos generados a partir del uso de artículos para el bienestar humano, siendo las aguas residuales su principal medio de movilidad (Robledo et al., 2017). En México el 54% de aguas residuales no son tratadas (CONAGUA 2015) y en estas condiciones son usadas para riego de cultivos de consumo humano incluyendo las hortalizas de hoja.

La generación de nuevas sustancias y su uso intensivo en actividades antropogénicas ha conducido a la degradación de recursos hídricos en el mundo, algunos efectos de estas sustancias, son cambios en el metabolismo, problemas de crecimiento, fertilidad y feminización de fauna y flora (Patiño et al., 2014), debido a su toxicidad se contemplan en una futura regulación en función de datos acerca de su incidencia en el medio ya que pueden representar un riesgo para la salud (Aguilar, 2013; Margenat et al., 2017).

6.2 Primeros reportes

La primera evidencia de la alteración de la cadena trófica a través de la incorporación de contaminantes en la dieta fue en 1962 cuando Rachel Carson

publicó el libro Primavera Silenciosa (Silent Spring) donde denunciaba el uso extendido del Dicloro Difenil Tricloroetano (DDT) pesticida para plagas de mosquitos, como la causa de la drástica disminución de muchas especies de aves (García, 2017).

Posteriormente en el año 1970 fue reportado por primera vez en el medio acuático y terrestre, la presencia de medicamentos de receta como antihipertensivos, analgésicos y anticonceptivos (Moreno-Ortiz et al., 2013; WHO, 2011) para la década de 1990 comienza la preocupación por la presencia de medicamentos en agua potable debido a la mala disposición de residuos de industrias farmacéuticas, donde implementaron tratamientos para disminuir sus emisiones (Castro-Pastrana et al., 2021; Kummerer, 2010). Fue para la década que el estudio de fármacos como contaminantes en el medio ambiente, toma fuerza principalmente en Europa y Estados Unidos. (Barceló & López, 2008).

Actualmente se reportan en diferentes compartimientos ambientales, moléculas de fármacos pertenecientes a diferentes grupos tales como analgésicos, antiinflamatorios, antibióticos, anticonvulsivos, anticancerígenos, hormonas y desinfectantes (Deblonde et al., 2015)

6.3 Contaminantes emergentes en agua

Estudios realizados a partir de los años noventa se centran principalmente en la presencia de contaminantes de nueva generación en matrices acuáticas, sin embargo, las concentraciones aun indeterminadas, se sabe que son traza, es decir cantidades en partes por billón (ppb) y partes por trillón (ppt) (Cartagena, 2011).

Existen factores que van a determinar la carga de principios activos en aguas, ligada principalmente con el consumo poco moderado de fármacos, como la demanda, la frecuencia de administración, la automedicación y los procesos fisiológicos (Halling-Sorensen et al., 1998).

Los sistemas de tratamiento de aguas que se usan convencionalmente para la desinfección, no son capaces de eliminar contaminantes emergentes, persistiendo a la degradación fotoquímica, biológica o química por lo que son ampliamente

vertidos sin ninguna restricción, alterando los ciclos vitales de la flora y fauna (Ellis, 2008; Patiño et al., 2014).

La identificación de la presencia de contaminantes emergentes en aguas tratadas para uso doméstico e industrial en varios países, donde las muestras fueron recolectadas en algunas de las cuencas principales en Lisboa, Brasil, Inglaterra entre otros, se citan algunos ejemplos de estos en el cuadro 1 (Reinoso et al., 2017). Países como España, Italia, Alemania, Canadá, Brasil, Grecia y Francia donde se ha estudiado ampliamente los contaminantes emergentes, reportan descargas al agua en donde el ácido salicílico y el diclofenaco alcanzaron concentraciones de 0.22µg/L y 3.02µg/L, se calcula que cada año son vertidas al sistema de alcantarillado alrededor de 500 toneladas (Cartagena, 2011).

En la Ciudad de México en aguas residuales que son dirigidas al Valle de Tula, Hidalgo, se detectó la presencia de contaminantes emergentes, esta agua comúnmente es empleada para actividades agrícolas lo que representa un gran riesgo para la salud (Aguilar, 2013).

El río Atoyac es el nombre con el que se conoce al Río Balsas en su paso por los estados de Puebla y Tlaxcala, cuerpo de agua con gran importancia económica y ambiental, sin embargo, actualmente se encuentra altamente contaminado por metales pesados y otros productos relacionados con el teñido de mezclilla para la elaboración de ropa, por otro lado, se ha encontrado residuos de productos de cuidado personal y artículos para la limpieza del hogar (Herrera, 2016).

Es un hecho que un factor determinante para caracterizar la calidad del agua es la presencia de sustancias químicas y subproductos de estas, por consiguiente, cualquier adición de datos para el entendimiento de la problemática de estos compuestos es necesaria para crear estrategias de restricción o mejorar los sistemas de limpieza de agua, entre otras medidas de seguridad para garantizar la calidad de agua, y por consiguiente la calidad de los alimentos y salud (Tejada et al., 2014).

6.4 Clasificación y propiedades químicas de los contaminantes emergentes

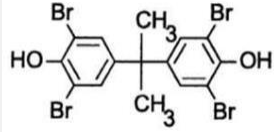

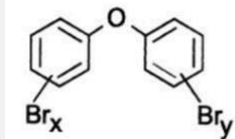
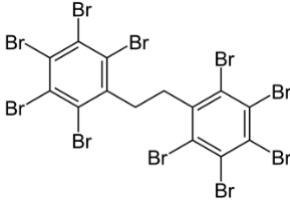
Como se ha mencionado con anterioridad los contaminantes emergentes engloban varios tipos de sustancias de diferente naturaleza. Las implicaciones en la salud así como el desequilibrio ambiental que ocasionan son variadas y dependen de la concentración y el tipo de contaminante, persistencia y biodegradabilidad en el medio (Robledo et al., 2017).

Los contaminantes emergentes para este caso se catalogan en seis grupos: retardantes de llama bromados, parafinas cloradas, pesticidas polares, compuestos perfluorados, fármacos y productos de higiene personal y drogas, se explican a continuación (Patiño et al., 2014).

6.4.1 Retardantes de llama bromados

Utilizados como aditivos en una gran variedad de polímeros, aplicados como retardantes de llama en productos industriales y de consumo, como el material electrónico. Algunos de estos compuestos han sido detectados en el medio ambiente, son dañinos, con efectos mutagénicos y carcinógenos en los organismos vivos, provocando también trastornos en la función endócrina (FAO, 2019); considerados recientemente como contaminantes emergentes, cuadro 1 (Barceló & López, 2008). En México, no se cuenta con registro acerca de su consumo y demanda, pero se asume que es menor comparada con EUA y Canadá, en estudios realizados en afluentes y efluentes de aguas residuales en Ciudad Juárez, Chihuahua, México, se encontraron en concentraciones de 40 a 215 ng/L y 91.4 ng/L respectivamente (Rocha-Gutiérrez et al., 2015).

Cuadro 1. Retardantes de llama bromados reportados con mayor frecuencia (Barceló & López, 2008; Patiño et al., 2014; Rocha-Gutiérrez et al., 2015)

Compuestos bromados	Compuestos basados en organofosfatos	Estructura Química
Tetrabromobisfenol A	Tris (cloro isopropil)	
Hexabromociclododecano (HBCD)	Fosfato (TCPP)	
Difenil-éteres polibrominados (PBDEs)	Tris (2-cloro etil)	
Decabromodifeniletano (DBDFE)	Fosfato (TCEP)	

6.4.2 Parafinas cloradas

Las parafinas cloradas (PCAs) están conformadas por cadenas cortas de carbono que varían de entre 10 a 30 átomos, con un porcentaje de cloro en su masa que varía del 30% hasta 70% (Barceló & López, 2008; Martín, 2019). Como característica presentan una baja presión de vapor y una alta viscosidad, por lo que en medios acuáticos la degradación es lenta con

tendencia a adsorberse en sedimentos. Son usados como aditivos en fluidos de corte y lubricantes, plastificantes en materiales de PVC, en pinturas, adhesivos, en la industria automovilística, etc. Son calificadas como compuestos tóxicos (Barceló & López, 2008; Patiño et al., 2014).

Se clasifican en:

- Cadena corta (C10-C13)
- Cadena intermedia (C14-C17)
- Cadena larga (C20-C30)

Siendo las parafinas cloradas de cadena lineal corta con mayor peligrosidad, consideradas incluso como agentes carcinógenos (Barceló & López, 2008).

6.4.3 Pesticidas polares

Son compuestos orgánicos empleados para el control de plagas, lo que incluye la prevención, y mitigación de población de organismos indeseables; el término plaguicida se aplica a herbicidas, insecticidas, fungicidas; su uso extensivo resulta en niveles cada vez más preocupantes en el medio ambiente, lo cual representa un gran peligro para la salud de las personas pero también para la fauna y la flora (Martín, 2019).

Los productos de degradación (metabolitos) generados a partir de los pesticidas, bajo las condiciones particulares del ecosistema, pueden ser potencialmente más tóxicos (Cuadro 2).

Cuadro 2. Clasificación química y usos de los pesticidas polares (Patiño et al., 2014).

6.4.4 Compuestos perfluorados

Los compuestos perfluorados (PFCs): son una familia de sustancias químicas usadas ampliamente en varios sectores de la industria y actualmente se reconocen como tóxicos (Barceló & López, 2008).

Compuestos por una cadena lineal hidrofóbica de carbono fluorado, siendo los más tóxicos el sulfonato de perfluorooctano (PFOs) y el ácido perfluorooctanoico (PFOA) (Barceló & López, 2008; Correia, 2018).

- Perfluorooctano sulfonato o PFOs: usado como refrigerante, detergente, y polímero, en formas farmacéuticas, retardantes de

llama, lubricantes, adhesivos, insecticidas e incluso cosméticos (Roig, 2020).

- Ácido perfluorooctanoico o PFOA: empleado en la elaboración de fluoropolímeros (PTFE) y fluoroelástomeros (PVDF) ampliamente usados que incluyen, tejidos, alfombras, envases o envoltorios, y automóviles (Roig, 2020).

6.4.5 Drogas

El uso de sustancias psicoactivas ha incrementado en los últimos años, por lo que su presencia en diferentes matrices ambientales también, se han estudiado drogas de abuso de diferentes familias como: opiáceos, cannabinoides, cocaínicos, anfetamínicos y cannabis (Patiño et al., 2014; Tejada et al., 2014). El estudio de la presencia de drogas de abuso en el agua es importante porque puede ser considerado como una alternativa viable para la evaluación del consumo de drogas por la población (Barceló & López, 2008).

6.4.6 Productos de cuidado personal

Los productos de cuidado personal constituyen una variedad de compuestos con propiedades diversas, su uso comprende una extensa lista que incluyen perfumes, agentes de protección solar o repelentes de insectos, maquillaje, dentífricos, desodorantes etc. abarcan ingredientes de diferentes categorías químicas como filtros UV, fragancias, insecticidas, antimicrobianos, antifúngicos, surfactantes y conservantes (Cuadro 3) (Roig, 2020).

Las características de los suelos, y las propiedades físico-químicas de estas sustancias propician su presencia en aguas subterráneas, retención en suelos, contaminando mantos acuíferos; la persistencia y bioacumulación en

el medio ambiente hacen de su estudio una prioridad (Barceló & López, 2008; García, 2017; Patiño et al., 2014).

Cuadro 3. Productos de cuidado personal y usos (Baz, 2019).

Contaminante	Tipo	Uso
Triclosan	Antibacteriano	Jabones, pastas de dientes, desodorantes.
Galaxolida	Almizcle sintético tipo policíclicas	Fragancias
Nonilfenol	Alquifenol	Detergentes
Oxibenzona,	Cetona aromática	Filtro UV
Tonalide	Almizcle sintético	Fragancias

6.4.7 Fármacos

Los fármacos juegan un rol importante en el tratamiento y prevención de enfermedades, desarrollados para actuar de manera específica sobre mecanismos metabólicos y moleculares utilizados en salud humana y veterinaria, una vez metabolizado se desechan al medio, por lo que entran en contacto con el agua y el suelo, por con siguiente con la flora y fauna que (Boxall et al., 2012).

La amplia variedad que enumeran los contaminantes emergentes, los fármacos son los que más preocupación causan debido a su persistencia y su alta distribución en agua, suelo e incluso su incorporación a la cadena trófica a través de alimentos y por último, su difícil degradación por tecnologías convencionales (Castro-Pastrana et al., 2021).

El consumo hospitalario, veterinario, y doméstico de productos farmacéuticos aumenta su ocurrencia junto con sus metabolitos en el medio ambiente, y su toxicidad se manifiesta en los atributos del ecosistema (Tejada et al., 2014).

Los fármacos más prescritos son los analgésicos, tales como ibuprofeno, diclofenaco, y los antiepilépticos, debido a que el uso de la población en general es la principal contribución, hace que la regulación de estos compuestos sea sumamente compleja (Barceló & López, 2008; García, 2017).

Las vías de contaminación de cultivos por fármacos se relacionan con el riego con efluentes de aguas residuales así como por el uso de estiércol de ganado como abono, y a través de los lodos de depuradoras (Cartagena, 2011).

Los compuestos farmacológicos son agrupados de acuerdo con su propósito y actividad biológica que desempeñan; por otra parte, la composición de los grupos químicos de cada sustancia está ligada con los ingredientes activos; a continuación, se muestran los grupos de fármacos reportados con más frecuencia, siendo los antibióticos con mayor peligrosidad ya que generan resistencia bacteriana (Gil et al., 2012).

- Antibióticos
- Analgésicos
- Antihipertensivos
- Antiepilépticos
- Antidepresivos
- Medios de contraste en Rayos X
- Citostáticos
- Estrógenos

La importancia de los fármacos está definida de acuerdo con su relevancia para el sector salud, sus volúmenes de uso, interés toxicológico y mecanismos de acción, en México se consideran los siguientes: ibuprofeno, diclofenaco, ketoprofeno, nimesulida, ácido clofíbrico, bezafibrato, carbamazepina, dexametasona, amlodipino, metoprolol, sildenafil, sulfametoxazol, trimetoprima, ciprofloxacino, cloranfenicol, 18 etinilestradiol entre otros (Castro-Pastrana et al., 2015).

Los principios activos en compuestos farmacológicos están diseñados para actuar aun en concentraciones bajas, teniendo un efecto sobre la actividad biológica, esto podría tener una consecuencia importante en el medio ambiente y los organismos

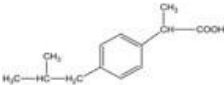
que interactúan, de ahí la preocupación por su ocurrencia y traslocación en el medio ambiente (Castro-Pastrana et al., 2015).

6.5 Ibuprofeno

Los antiinflamatorios no estereoidales (AINEs) no selectivos son un grupo variado y químicamente heterogéneo, con acciones antiinflamatorias, analgésicas y antipiréticas, por lo que reducen síntomas de inflamación, dolor y fiebre, constituyen el 68% de los medicamentos que se adquieren sin receta médica en México, ya que son de fácil acceso y de una gran disponibilidad (Cartagena, 2011; De la Luz, 2020; Ríos & Estrada, 2018).

El ibuprofeno es un medicamento antiinflamatorio no esteroideo ampliamente utilizado, con un alto espectro para el alivio del dolor y la desinflamación, considerado dentro de los AINEs (ver Cuadro 4); su nombre sistemático es ácido (RS)-2-(4-isobutilfenil) propanoico, es un ácido débil debido a la presencia de un grupo de carboxilo en su estructura, son presentados como sales de potasio o sodio, para aumentar su capacidad de absorción y disolución ya que poseen baja solubilidad en agua, (Correia, 2018; Moro, 2018).

Cuadro 4. Características fisicoquímicas y estructura del ibuprofeno (Adaptado de Correia et al., 2017).

Propiedades	Descripción
Fórmula química condensada	C ₁₃ H ₁₈ O ₂
Fórmula química estructural	
IUPAC	Ácido (RS)-2-(4-isobutilfenil) propanoico
Peso molecular (g mol ⁻¹)	206.29
Solubilidad en agua (mg L ⁻¹)	<1.49
pK _a	4.52/4.91
Naturaleza	Ion hidrofóbico
Carga a pH 7	-1

A partir de su metabolización por medio del hígado, se obtienen cuatro principales metabolitos: 1-hidroxi-ibuprofeno, 2-hidroxi-ibuprofeno, 3-hidroxi-ibuprofeno, y carboxi-ibuprofeno, todos carecen de actividad farmacológica, y solo dos de ellos se encuentran en altas concentraciones en la orina, el 2-hidroxi-ibuprofeno y el carboxi-ibuprofeno, como consecuencia de las reacciones de oxidación fase 1 (Correia, 2018; Roig, 2020).

La excreción de ibuprofeno mediante procesos metabólicos se da a nivel renal, a través de la reacción de oxidación fase 2 (glucuronidación) se obtienen glucurónidos del derivado hidroxilado del ibuprofeno, del carboxiibuprofeno y otro del propio ibuprofeno sin modificar, además de un 10% del ibuprofeno consumido se obtiene de forma inalterada (Castro-Pastrana et al., 2021; Correia, 2018).

6.5.1 Propiedades fisicoquímicas del Ibuprofeno

La manera en que un contaminante se distribuye, desplaza, y cambia sus características en los compartimentos ambientales, está relacionada con sus atributos químicos que pueden ser evaluados a través de la solubilidad en agua, coeficiente de partición n-octanol/agua (K_{ow}), presión de vapor y coeficiente de adsorción (K_{oc}), las cuales son de mayor interés para la toxicología ambiental (ver Cuadro 5) (Castro-Pastrana et al., 2015).

Para fármacos con altos valores de K_{ow} nos indica la capacidad de adsorción en suelos y su tendencia de bioacumulación, lo que los hace peligrosos, así mismo para sustancias como el ibuprofeno con un alto valor de K_{oc} , son capaces de acumularse en suelos y sedimentos, con un alto potencial de contaminar aguas superficiales. Por lo que las partículas de este fármaco pueden movilizarse por acción de la erosión y volver a la superficie a través de la lluvia (Roig, 2020)

El factor de bioconcentración para el ibuprofeno aunque no es elevado, existe una alta probabilidad de bioacumularse en organismos y magnificarse a través de las redes tróficas, lo que representa un potencial peligro para la salud humana (Brooks et al., 2012).

Por otro lado, la persistencia del ibuprofeno es media lo que significa que puede movilizarse en el ambiente, y de esta manera interactuar con los seres vivos antes de degradarse; Entre más persistente sea una sustancia su peligrosidad aumenta, incorporándose a los ciclos biogeoquímicos especialmente el del agua, pudiendo desplazarse a lugares distintos al de su origen (Castro-Pastrana et al., 2015).

Cuadro 5. Principales propiedades del ibuprofeno (modificado de Castro-Pastrana et al., 2015).

Movilidad ambiental				Persistencia				Bioconcentración y acumulación	
Koc	Presión de vapor ^a	Solubilidad en agua ^b	pKa ^c	Fotólisis	Bio-degradación	Hidrólisis	Vida media	Log Kow	BCF
3400	4.7x10 ⁻⁵	21	4.91	+	+	-	32 h aire; 20 d agua	3.97	3
a mmHg a 25°C, b mg/L a 25°C, c Determinado a 25°C h = horas; d = días, Koc = coeficiente de adsorción suelo-agua, Kow = coeficiente de partición octanol-agua, BCF = factor de bioconcentración									

6.5.2 Presencia de Ibuprofeno en agua

Las vías de incorporación de los residuos farmacéuticos al medio acuático son a través de las emisiones de producción de las industrias farmacéuticas, de la mala disposición de medicamentos, de uso agrícola y ganadero (Gong et al., 2017), siendo los efluentes de hogares y hospitales, los que contribuyen de manera importante a la continua introducción de medicamentos o sus productos de transformación, considerados peligrosos no por sus efectos tóxicos agudos, sino su toxicidad crónica (Jiang et al., 2013).

La ocurrencia, destino y transporte de contaminantes emergentes, fueron revisados en 14 países, siendo el ibuprofeno el más frecuentemente detectado, lo que refleja su uso extendido; la presencia de antiinflamatorios en el medio acuático, se reportaron con las concentraciones más altas por encima de varias docenas de $\mu\text{g L}^{-1}$ en aguas residuales con y sin tratamiento en Reino Unido, Canadá y Japón (Jiang et al., 2013).

Para cuatro países de Europa (Italia, Francia, Grecia y Suiza) se monitorearon los efluentes de plantas tratadoras de aguas residuales donde se detectaron 20 tipos de farmacéuticos, pertenecientes a diferentes familias terapéuticas, y en todas las muestras tomadas se reportó ibuprofeno (Andreozzi et al., 2003).

China reportó concentraciones de ibuprofeno de 1417 ng L^{-1} en muestras de 4 arroyos urbanos y el río Major Pearl en Guangzhou, atribuyéndolo como una problemática ambiental seria, especialmente en temporadas donde el río lleva menos cauce (Peng et al., 2008). Corea del Sur también reportó a este antiinflamatorio como uno de los compuestos de mayor frecuencia de ocurrencia en muestras recolectadas del río Han, el río Nakdong y el río Youngsan (Kim et al., 2007).

En efluentes y afluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales en Australia se detectó la presencia de ibuprofeno y otros antiinflamatorios, se le atribuye la presencia de estos compuestos a la población longeva que hace un elevado consumo (Al-rifai et al., 2007).

De acuerdo con Boxall et al (2012) concentraciones de ibuprofeno en un rango de $0.025\text{-}0.475 \text{ mg L}^{-1}$ fueron detectadas en aguas superficiales y potables en

Inglaterra y Gales respectivamente, aun en esos niveles puede tener efectos adversos.

En Latinoamérica en países como Brasil y Uruguay se detectó ibuprofeno en aguas superficiales y residuales respectivamente (Reinoso et al., 2017). En el río de la Plata en Argentina, estudios confirman la presencia de ibuprofeno y otros antiinflamatorios (Tejada et al., 2014).

En un hospital público del estado de México se tomaron muestras del agua residual donde se cuantificó ibuprofeno en 720 ng L^{-1} , el cual no contaba con planta de tratamiento de aguas residuales (Luja-Mondragón et al., 2019).

En aguas residuales no tratadas de dos centros médicos públicos (IMSS) localizados en la ciudad de Toluca, México se detectaron concentraciones (71.7 ng L^{-1}) de ibuprofeno (Olvera-Néstor et al., 2016) en el otro se analizaron los efluentes donde se reportaron once fármacos, incluido ibuprofeno (620 ng L^{-1}) y tampoco contaba con planta de tratamiento (Pérez-Alvarez et al., 2018).

En la zona central de México se detectaron antiinflamatorios que incluyen paracetamol, naproxeno e ibuprofeno, en aguas subterráneas y superficiales, cuerpos de agua que tienen usos domésticos y recreativos para zonas aledañas (Gibson et al., 2010; González-González et al., 2014). Para el Valle de Mezquital situado en la Ciudad de México, se estimaron concentraciones de introducción ambiental para fármacos a través de datos como el consumo de agua, de medicamentos y tasas de excreción, se compararon con las concentraciones medidas en aguas residuales, donde el ibuprofeno reportó niveles de hasta 1 mg / L que es el límite de acción de la FDA de EE. UU (Siemens et al., 2008).

Muestras de aguas residuales fueron tomadas en tres hospitales particulares en la Ciudad de Puebla, México, reportando ibuprofeno en concentraciones máximas promedio de $249.46 \pm 143.68 \text{ ng/L}$ (Castro-Pastrana et al., 2021).

6.5.3 Presencia de Ibuprofeno en suelo

Grandes cantidades de sustancias químicas empleadas para usos domésticos y de cuidado personal terminan como residuos sanitarios; a través de los tratamientos que reciben las aguas residuales se generan biosólidos que sirven de reservorios para contaminantes emergentes como los fármacos, su aplicación a suelos puede provocar la introducción de estos y sus productos de reacción a otros compartimentos ambientales (Rodríguez et al., 2019).

La contaminación de los suelos, especialmente los agrícolas, es un proceso de degradación extendido, este recurso se ve afectado también por otros factores como la crianza y cuidado del ganado, el uso veterinario de antibióticos y hormonas para su tratamiento, ha provocado que la presencia de contaminantes emergentes también se observe a este nivel (Rodríguez et al., 2019). Los fármacos debido a sus propiedades físico-químicas, pueden permanecer retenidas en los suelos, llegando a contaminar aguas subterráneas (Patiño et al., 2014), por otro lado el uso de lodos extraídos de procesos de plantas tratadoras como fertilizantes provoca la presencia de estos fármacos en suelos agrícolas (González, 2013).

En los suelos del Valle de Tula Hidalgo se han detectado naproxeno, ibuprofeno diclofenaco y carbamazepina, se sabe que esta región emplea el uso de aguas residuales para riego de cultivos, potencialmente estas sustancias pueden llegar a aguas subterráneas debido a sus características de persistencia y movilidad (Gibson et al., 2010).

Se determinó la presencia de ibuprofeno en el suelo de una chinampa, y sedimentos del fondo de un canal, provenientes de la zona lacustre de Xochimilco, sin embargo, las concentraciones de éstos fueron mayores en sedimento que en el suelo, esto representa, un gran peligro para fauna y flora acuática que habita el lago así como las personas que consumen los productos (Campos et al., 2017).

El estudio de ibuprofeno en suelo es importante debido a que su movilidad en este compartimento ambiental podría estar determinando la disponibilidad de este contaminante y sus subproductos metabólicos en otros compartimentos ambientales (González, 2013).

6.5.4 Técnicas de eliminación para ibuprofeno y otros contaminantes emergentes

Las plantas tratadoras convencionales, están diseñadas principalmente para la eliminación de materia orgánica, o ciertos tipos de contaminantes, aquellos que se especifican en las normas oficiales (concentraciones de gL^{-1}), sin embargo, se requiere implementar tratamientos avanzados ante los contaminantes emergentes para una segura incorporación de aguas residuales al medio ambiente (Patiño et al., 2014); básicamente los tratamientos empleados para la limpieza y desinfección de aguas se componen de un sistema de pretratamiento, tratamiento primario (tratamientos físico-químicos) y secundario (reactor biológico).

Para el caso de los productos farmacéuticos como contaminante emergente poseen características físico-químicas diversas lo que implica que su eliminación varíe en función de esas propiedades, por lo que, las técnicas de eliminación aplicadas son diferente.

Los métodos empleados para la eliminación de contaminantes emergentes se clasifican en: tratamientos físico-químicos, tratamientos biológicos y técnicas híbridas, se destacan los procesos de oxidación avanzados incluidos en los tratamientos físico-químicos ya que tienen una mayor eficacia para la remoción de contaminantes (ver figura 1) (García-Gómez et al., 2011).

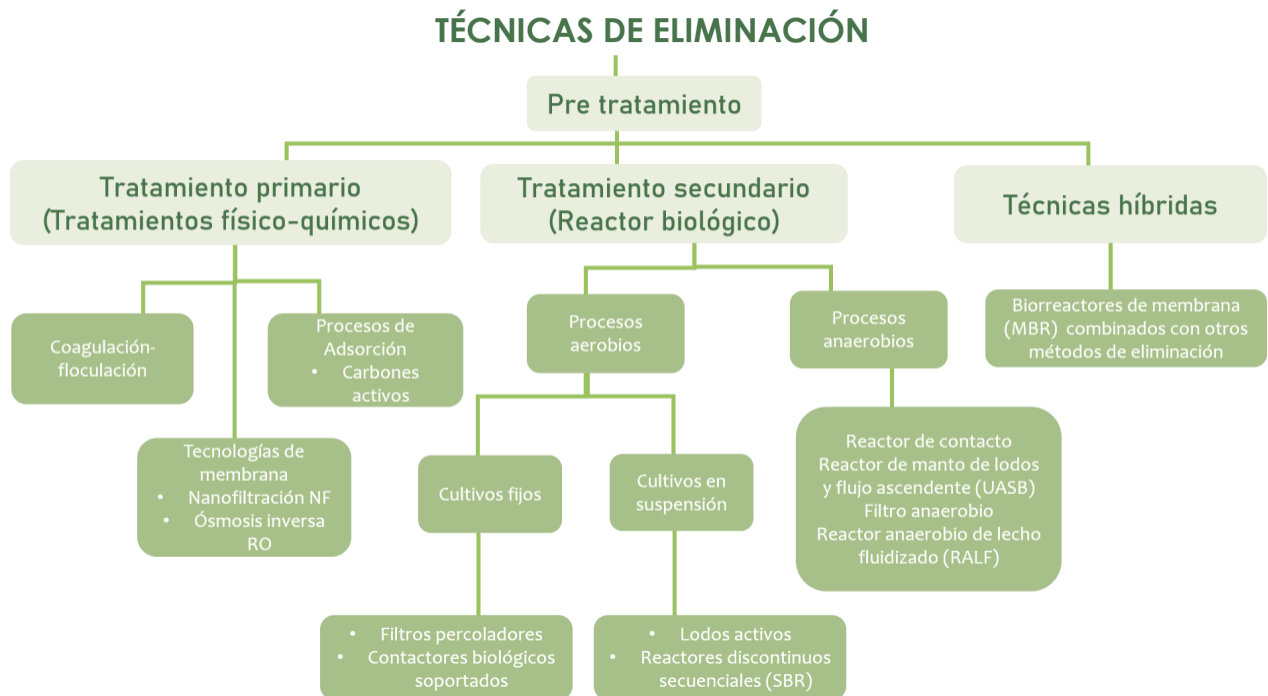


Figura 1. Sistemas para el tratamiento de aguas (modificado de Patiño et al., 2014).

- Tratamientos fisicoquímicos

Diferentes tratamientos fisicoquímicos como coagulación, cloración y flotación se usan comúnmente para la eliminación de contaminantes en aguas residuales, los procesos de eliminación de agentes contaminantes se basan en las características físicas y químicas como densidad o gravedad de las partículas para posteriormente separarlas del medio acuoso, sin embargo, tienen ciertas limitaciones por lo que suelen ser combinados con otros tratamientos más avanzados (García-Gómez et al., 2011; Martín, 2019)

Mediante la técnica de coagulación/floculación, se añaden agentes químicos que funcionan como coagulantes o floculantes, siendo los más comunes aluminio, sales

de hierro y polímeros, lo que permite la agregación de partículas coloidales y el proceso de sedimentación (Patiño et al., 2014).

Se ha estudiado la remoción por coagulación de varios fármacos como el diclofenaco, carbamazepina, ketoprofeno e ibuprofeno resultando ineficiente para su eliminación (Petrovic et al., 2003; Vieno et al., 2006).

Los procesos de adsorción por medio de carbón activo granular o en polvo han sido estudiados para la limpieza de aguas residuales de contaminantes emergentes, como ventaja no producen compuestos tóxicos además son excelentes para la adsorción de materia orgánica no refractaria y sustancias no biodegradables (García-Gómez et al., 2011; Patiño et al., 2014).

Dentro de los tratamientos fisicoquímicos se distinguen también a aquellos procesos que se caracterizan en degradar o disminuir las partículas suspendidas por medio de la sedimentación o la precipitación como la nanofiltración y ósmosis inversa que se reconocen como tecnología de membrana, resultando eficaz para la retención de compuestos orgánicos (Patiño et al., 2014) pero al no permitir su degradación dichos compuestos se sedimentan como residuos sólidos (Homem & Santos, 2011).

Existen varios estudios donde se ha cuantificado la eficacia de diferentes tecnologías de membrana; Kimura *et al.*, (2004) y Yoon *et al.*, (2006) estudiaron la eliminación de una amplia variedad de productos farmacéuticos, de cuidado personal y disruptores endocrinos, mediante ósmosis inversa, nanofiltración y ultrafiltración; para la primera técnica, se utilizaron membranas de poliamida y acetato de celulosa, reportando eficacias de retención del 70% y 50% respectivamente, en al menos la mitad de los 11 contaminantes emergentes estudiados. Para las técnicas de nanofiltración y ultrafiltración, los porcentajes de retención fueron inferiores al 40% y 70% respectivamente, para prácticamente todos los contaminantes analizados (Kimura et al., 2004; Yoon et al., 2006).

Mediante tratamientos convencionales como el carbón activo y coagulación/floculación y procesos de membrana como nanofiltración se estudió la eliminación de estrógenos en agua, se observó que carbón activo granular y en polvo son más eficientes en comparación, mientras que la coagulación-floculación

mostró el porcentaje más bajo de degradación con un 20% (figura 2) (Bodzek & Dudziak, 2006; Peñalver, 2020).

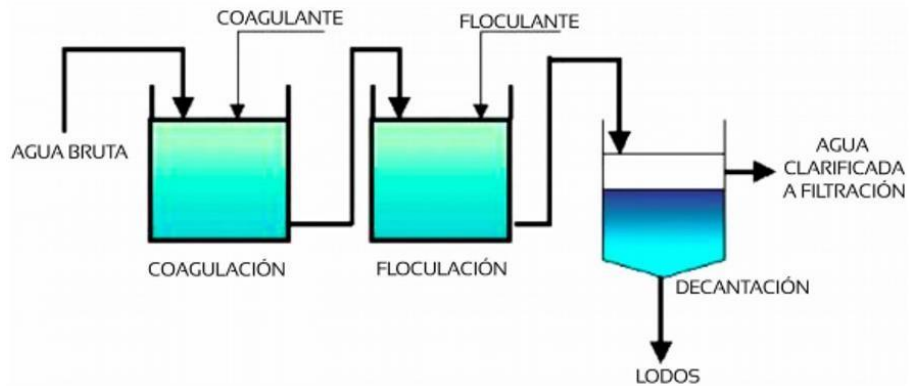


Figura 2. Esquema de tratamiento de agua mediante coagulación y floculación (Peñalver, 2020).

Se realizó un estudio comparativo entre las técnicas de osmosis inversa, aplicando ozonización y usando filtración a través de carbón activo, para determinar la capacidad de cada tratamiento para la remoción de 11 compuestos farmacéuticamente activos incluyendo al ibuprofeno y dos compuestos estrogénicos no esteroideos, concluyendo que la ósmosis inversa fue responsable de la mayor proporción de eliminación de contaminantes con valores más altos de los reportados en la literatura (Al-rifai et al., 2007).

- Procesos de oxidación avanzada (POA)

Los procesos avanzados de oxidación son ideales para la eliminación de compuestos orgánicos e inorgánicos hasta degradarlos convirtiéndolos en productos menos tóxicos para el medio ambiente y por consecuencia para la salud humana (Quirog et al., 2015). Se definen como tratamientos de aguas que involucra la generación de radicales de hidroxilo (OH^\cdot) se caracterizan por una alta actividad oxidativa.

La cuadro 6 contiene una clasificación de procesos de oxidación; una de las grandes ventajas de estas técnicas es que son amigables con el medio ambiente. De los procesos avanzados más estudiados es la ozonización debido a sus grandes

atributos, se emplea para el tratamiento y desinfección de aguas, es un método sumamente eficaz obteniendo eliminaciones superiores al 90%(Quero-Pastor et al., 2014).

Los procesos Fenton y foto-Fenton ($\text{Fe}^{3+}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$) son técnicas oxidativas empleadas en la eliminación de contaminantes emergentes, estas se basan en el empleo del agente Fenton (peróxido de hidrógeno e iones de hierro) y combinado con UV (foto-Fenton) aumenta de la eficiencia de oxidación se (Patiño et al., 2014) sin embargo, agua con un alto contenido de materia orgánica resulta una limitante para la penetración de la radiación UV debido a la turbidez (Homem & Santos, 2011). El pH, temperatura y fuerza iónica son variables que condicionan la solubilidad del ozono, que se encuentra disponible como ozono molecular o radicales OH^\cdot (reacción indirecta al disolverse el ozono en el agua), esto le permite reaccionar con contaminantes orgánicos y oxidarlos (Quiroga et al., 2015).

Cuadro 6. Tecnologías de oxidación avanzadas para aguas residuales (Patiño et al., 2014).

Procesos no fotoquímicos	Procesos fotoquímicos
Oxidación en agua sub/supercrítica	UV de vacío (UVV)
Reactivo Fenton ($\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$)	UV/ H_2O_2
Oxidación electroquímica	Foto-Fenton (UV/ $\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$)
Radiólisis	UV/ O_3
Plasma no térmico+	Fotocatálisis heterogénea
Ultrasonidos	
Ozonización	

Por otro lado, Quero-Pastros y colaboradores en 2014, señalan que un estudio realizado para analizar la eficiencia de degradación de ibuprofeno en agua a través de la ozonización y evaluar el efecto tóxico del ibuprofeno y de los compuestos

intermedios generados durante el tratamiento oxidativo, con una degradación del 99% en condiciones óptimas, sin embargo, los compuestos intermedios así formados son más tóxicos que el compuesto inicial.

- **Tratamientos biológicos**

Los tratamientos biológicos se constituyen por componentes anaerobios y aerobios, que ayudan a la degradación parcial de contaminantes emergentes (Homem & Santos, 2011; Patiño et al., 2014).

Los tratamientos con lodos activos o cultivos fijos se consideran como sistemas aerobios cuyo objetivo es la inmovilización de materiales sólidos en la superficie mediante microorganismos, por otro lado, lo que se refiere a sistemas anaeróbicos intervienen bacterias, que ante la carencia de oxígeno degradan los compuestos orgánicos, como resultado de la reacción se obtiene principalmente metano y dióxido de carbono (Kitamura et al., 2005).

Estudios sugieren que los procesos de limpieza con lodos activos o anaerobios en su mayoría muestra tasas bajas de remoción (> 50%) debido a su débil retención de contaminantes, hay casos específicos como para la cafeína y su metabolito la paraxantina donde muestran un porcentaje de degradación que superan el 80% (Gil et al., 2012).

Se examinó la remoción de tres estrógenos, dos disruptores endocrinos y diez sustancias farmacéuticas entre ellas ibuprofeno, por medio de lodos activos, en una planta de tratamiento de aguas residuales en Tokio observando una tasa de remoción de menor del 30% (Urase & Kikuta, 2005). Por otra parte, en Japón se estudió la remoción de 48 productos de cuidado personal y compuestos farmacéuticos mediante tratamientos anaerobios donde la mayoría de las sustancias examinadas obtuvieron eliminaciones inferiores al 50% (Narumiya et al., 2013).

- **Tecnologías híbridas**

Los Procesos de Oxidación Avanzada (POA) son de las técnicas más eficientes en cuanto a la eliminación de fármacos y productos de cuidado personal, sin embargo, son costosos comparados con otros tratamientos como los biológicos. Los POA pueden ser utilizados como pre o post tratamientos para aumentar la biodegradabilidad de las aguas residuales y por ende la eliminación de contaminantes emergentes (García-Gómez et al., 2011).

La tecnología de membranas también puede ser complementada junto con otros métodos de remoción teniendo una alta eficacia de remoción de contaminantes emergentes, los biorreactores de membrana son eficaces para la eliminación de compuestos hidrófobos y fácilmente biodegradables, como una de sus ventajas se puede mencionar la baja carga de lodo generada comparándose con los tratamientos biológicos (Roig, 2020).

La eficacia de los procesos de oxidación avanzados (POAs) es alta, empleando ozono con peróxido de hidrogeno (O_3/H_2O_2) para el tratamiento de ibuprofeno y diclofenaco, donde se obtuvo la remoción del 90% de estos fármacos (Zwiener & Frimmel, 2000).

En otro estudio se examinaron más de setenta compuestos en un efluente de aguas residuales, farmacéuticos y productos de cuidado personal, como también algunos metabolitos, encontrando que la cafeína y su metabolito (paraxantina) Los que se encuentran en mayores concentraciones y con mayor frecuencia. Los resultados muestran que la reacción del radical hidroxilo fue la vía principal para la transformación oxidativa de estos compuestos (Rosal et al., 2010).

En un estudio se usó el método de reactor de membrana (MBR)) en combinación con una lámpara de UV (254 nm) donde casi el 80% de los compuestos orgánicos, incluyendo al ibuprofeno, fueron removidos, se compararon resultados empleando solo MBR, donde solo nueve de veintidós contaminantes estudiados tuvieron altas eficacias de degradación, para los trece restantes, se obtuvieron incluso en eliminaciones por debajo del 20 %, los resultados indican que la aplicación de UV se complementa con el tratamiento por MBR (Nguyen et al., 2012).

VII. Lechuga y acelga

Las hortalizas deben ser un alimento indispensable, el cual nunca debe de faltar en la ingesta diaria, contribuyen a un gran aporte de vitaminas y minerales, además de un bajo contenido calórico debido a su composición mayoritaria en agua.

Según el Sistema Nacional de Información Agroalimentaria y Pesquera, clasifica a las hortalizas (ver cuadro 7) de acuerdo a las partes comestibles de la planta agrupándolas en cinco categorías, el primer grupo son las hortalizas de raíz que se caracterizan porque se desarrollan debajo de la tierra (CEDRSSSA, 2020).

Por otro lado se encuentran las hortalizas de flor o coles, donde se consideran a la coliflor y el brócoli; el tercer grupo son las hortalizas de hoja donde destacan la lechuga y la acelga ya que las hojas son la parte aprovechada, las cuales tienen un alto contenido de vitaminas, calcio y hierro; La cebolla y el ajo integrantes que conforman el cuarto grupo conocido como bulbos, donde se almacenan minerales, vitaminas y fibra; finalmente, el grupo de frutos tales como el tomate y la calabaza que se caracterizan por una cascara gruesa (CEDRSSSA, 2020).

Cuadro 7. Categorización de las hortalizas tomado (CEDRSSSA, 2020).

Raíz	Flor- coles	Hoja	Tallo-bulbos	Frutos
Zanahoria	Coliflor	Apio	Ajo	Tomate
Rabo	Brócoli	Perejil	Cebolla	Pepino
Nabo	Alcachofa	Acelga	Papa	Pimiento
Betabel		Espinaca		Berenjena
		Lechuga		Haba
				Ajíte

7.1 Lechuga

La lechuga es una herbácea que pertenece a la familia Compositae, del género *Lactuca sativa* L., se encuentra dentro de las hortalizas de hoja, aportando a la dieta diversos nutrientes, como son los antioxidantes, fibra, ácido fólico, alto contenido en agua folatos, provitamina A o beta-caroteno y vitamina C (cuadro 8), por lo que es consumida en ensaladas y jugos en diversas partes del mundo, su origen data aproximadamente hace 2,500 años (Carranza et al., 2009). Las distintas variedades y tipos de lechuga se presentan en el cuadro 9 (SAGARPA, 2020).

Cuadro 8. Nutrientes que aporta la lechuga (100 gr) (Tomado de: Infoagro, 2021)

Compuesto	Cantidad
Calorías	18 Kcal
Agua	94 g
Proteína	130 g
Grasa	0.30 g
Cenizas	0.90
Carbohidratos	3.50 g
Fibra	1.9 g
Calcio	68 mg
Hierro	1.40 mg
Fosforo	25 mg
Vitamina C	18 mg

7.1.1 Taxonomía

La clasificación de la USDA (2014) encuadra a la lechuga dentro de los siguientes taxones

Reino Plantae
Subreino Tracheobionta

Superdivisión Spermatophyta
 División Magnoliophyta
 Clase Magnoliopsida
 Subclase Asteridae
 Orden Asterales
 Familia Asteraceae
 Genero Lactuca L.
 Especie Lactuca sativa L

7.1.2 Morfología

La lechuga posee una raíz tipo pivotante no mayor a 25 cm de largo y presenta ramificaciones, las hojas emergen en forma de roseta de un corto tallo de forma cilíndrica y no ramificado, donde para las variedades romanas se despliegan desde el inicio y continúan durante todo su desarrollo, y en otros casos se acogollan más tarde. El borde de los limbos se presenta liso, ondulado o aserrado, las inflorescencias se agrupan como capítulos florales amarillos dispuestos en racimos o corimbos, y las semillas están provistas de un vilano plumoso (SAGARPA, 2020).

Cuadro 9. Variedades y tipos de lechuga Fuente: SAGARPA, 2020

Variedades	Tipos
Romana-Lactuca sativa var. Longifolia	Tipo romana y baby
Acogolladas-Lactuca sativa var. capitata	Tipo batavia, mantecosa e iceberg
Hojas sueltas-Lactuca sativa var. inybasea)	Tipo lollo rossa, red salad bowl y cracarelle
Lechuga espárrago (Lactuca sativa var. augustana)	

7.1.3 Producción de lechuga en México y en el mundo

A nivel mundial ha aumentado la producción de hortalizas de manera controlada a través de invernaderos, esto debido a la necesidad de su disposición en cualquier

época del año, siempre manteniendo los estándares de producción monitoreando y optimizando los recursos.

Mundialmente se producen alrededor de 275 millones de toneladas anuales de hortalizas por lo que se consideran en el séptimo lugar de mayor producción.

Estas hortalizas se enlistan como las mayormente producidas: tomate, cebolla, pepino, col, berenjena, zanahoria, pimiento, calabaza, lechuga y ajo, los principales países que producen hortalizas son China, India, Estados Unidos, Vietnam, Turquía, Irán, Rusia, Egipto, México y España (CEDRSSSA, 2020).

En la actualidad el consumo de hortalizas se ha incrementado debido al interés por mantener una buena salud, como es el caso de la lechuga y su producción en 2018 con 27, 259,820 ton en todo el mundo, registrando a China, Estados Unidos, India y España con las mayores aportaciones (CEDRSSSA, 2020)

En los últimos años en México las exportaciones de la lechuga han aumentado considerablemente, llegando a exportar hasta la mitad de lo que se produce, en 2019 se presentaron condiciones que favorecieron un repunte significativo de las exportaciones mexicanas del vegetal, las cuales están próximas a consolidar por primera vez, ventas por arriba de los 300 millones de dólares anuales (SAGARPA, 2020).

Durante el año 2019 el destino internacional de la producción de lechuga fue Estados Unidos que adquirió 249 mil 424 toneladas durante, pero también se incluyen como clientes a Canadá, Belice, Costa rica y Cuba (SAGARPA, 2020).

A nivel nacional la lechuga se produce en 22 estados, Guanajuato es el principal productor aportando 142,869.5 ton, que es el 29.4% del total nacional, sigue Zacatecas, con menor superficie sembrada pero produciendo el 18.0%, Puebla, Aguascalientes y Querétaro en conjunto aportan el 77.9% de la producción nacional, lo que posiciona a México en el noveno lugar a nivel mundial con 486,440.0 ton producidas, cifra que ha aumentado con respecto a años anteriores (figura 3 y cuadro 10) (CEDRSSSA, 2020).

Las variedades que se producen en México son cuatro orejona, baby leaf, escarola, y romana. En los meses de febrero, abril, julio y agosto se obtienen los mejores

rendimientos; para el 2019 se produjeron en el país un total de 515,647 toneladas (SAGARPA 2020).



Figura 3. Producción nacional 2010-2019 Fuente: SAGARPA, 2020

Cuadro 10. Principales entidades productoras de lechuga Fuente: SAGARPA, 2020.

Lugar	Estado	Región	Producción e tonela
1	Guanajuato	Centro-Occidente	
2	Zacatecas	Noreste	
3	Puebla	Centr	
4	Aguascalientes	Centr	
5	Baja California		
6	Querétaro		
7	So		
8	S		
9			

7.2 La acelga

La acelga es un alimento que se encuentra categorizada dentro de las hortalizas de hojas perteneciente a la familia de las Quenopodiáceas, compuesta por un gran porcentaje de agua, pero también con un alto aporte de vitaminas, sales minerales como el potasio pero destaca por su mayor contenido en magnesio, sodio, yodo, hierro, calcio y fibra (Lata et al., 2015; Pacheco & Quiroga, 2018).

Es un cultivo de rebrote, debido a que al cortar las hojas que son la parte comestible de la planta, estas saldrán de nuevo. Posteriormente la longitud de las hojas indica el tiempo de la cosecha, las cuales deben medir aproximadamente 25 cm

Es importante mencionar que a la fecha no se reportan estudios donde se explique procesos de adsorción de contaminantes emergentes en acelga, ni específicamente para ibuprofeno.

8.2.1 Taxonomía

La acelga es un cultivo anual, sin embargo, la mejor época es entre los meses de otoño a primavera, según la USDA (2014) se reconoce dentro los siguientes taxones:

Reino Plantae
Subreino Tracheobionta
Superdivisión Spermatophyta
División Magnoliophyta
Clase Magnoliopsida
Subclase Caryophyllidae
Orden Caryophyllales
Familia Chenopodiaceae
Genero Beta L.
Especie Beta vulgaris L.
Subespecies Beta vulgaris L. ssp. cicla (L.)

7.2.2 Morfología

La acelga es una planta caracterizada por un sistema radicular fibroso y bastante profundo que puede llegar hasta los 90 cm, los tallos varían en colores blancos, amarillos o rojos, las hojas que constituyen la parte son grandes y ovaladas pudiendo ser de colores verdes intensos y nervaduras marcadas, el pecíolo que sostiene las hojas al tallo es ancho y largo, con colores crema o blancos, extendiéndose hasta el limbo; la floración necesita de un período de bajas temperaturas, el vástago floral llega alcanzar alturas de 1.20 m (ACOSTA, 2015), compuesta por una larga panícula con flores sésiles y hermafroditas, las semillas son muy pequeñas y están encerradas en un pequeño fruto al que comúnmente se le llama semilla, el que contiene de 3 a 4 semillas (ACOSTA, 2015).

7.2.3 Variedades de acelga

Amarilla de Lyon. Las hojas apreciadas por su gran sabor, son grandes y onduladas con colores verdes amarillentos. Los tallos de color blanco opaco con un grosor de hasta 10 cm.

Verde con penca blanca Bressane. Hojas provenientes de una vigorosa planta de formas onduladas y de colores verdes oscuros, los tallos contrastan con colores blancos con un grosor de alrededor de 15 cm.

Otras variedades: Verde penca blanca, R. Niza, Paros, Green y Fordook Giant.

7.2.4 Producción de acelga en México

En México esta planta tiene poca demanda en comparación con las demás hortalizas de hoja, a pesar de su gran contenido de vitaminas A y C, sin embargo, se encuentran disponibles en el mercado durante todo el año; el estado líder productor es Puebla con más de 4 mil toneladas (SAGARPA, 2020).

VIII. Seguridad alimentaria

En la actualidad uno de los problemas más grandes que enfrenta la población es la seguridad alimentaria, debido a la contaminación de recursos hídricos, suelos y aire, principalmente por la presencia de contaminantes emergentes.

La FAO (2009) define la Seguridad Alimentaria Nutricional como “un estado en el cual todas las personas gozan, en forma oportuna y permanente, de acceso físico, económico y social a los alimentos que necesitan, en cantidad y calidad, para su adecuado consumo y utilización biológica, garantizándoles un estado de bienestar general que coadyuve al logro de su desarrollo”. Por otro lado, la ONU en la AGENDA 2030 establece en el objetivo 2, poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria, la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible.

En el proceso de asegurar la inocuidad de los alimentos se han establecido límites y regulaciones acerca del tratamiento del agua y suelo para elementos químicos que forman parte de fertilizantes y pesticidas; sin embargo, ciertos compuestos químicos, materiales compuestos, productos de descomposición de procesos industriales, microorganismos, persisten en los ecosistemas, y se hacen presentes

en alimentos, agua y suelo, lo que implica potenciales riesgos de toxicidad y nuevos procesos de contaminación.

Los riesgos potenciales al consumir alimentos cultivados contaminados con sustancias químicas adquiridas mediante diferentes vías, como la adsorción a través de suelos, agua o aire indica que es necesario establecer normativas que regulen las emisiones de los diferentes tipos de fármacos. La Organización Mundial de la Salud (OMS) y algunas autoridades ambientales, han establecido niveles de riesgo en función de la concentración de metales en aguas de consumo humano y alimentos, sin embargo, no se han señalado límites ni regulaciones para los metabolitos de contaminantes emergentes a pesar que ya se ha demostrado la presencia de estos en aguas residuales y en mantos acuíferos, así como también existe evidencia de la capacidad de absorción de una amplia variedad de hortalizas. Para hablar de un buen estado nutricional se requiere de una dieta equilibrada incluyendo una amplia variedad de alimentos y además de calidad, lo que englobe la seguridad nutricional de modo que seguridad alimentaria se refiere a la disponibilidad y accesibilidad de los alimentos, aunque es una condición necesaria no es suficiente; un hogar es seguro nutricionalmente sí es capaz de asegurar una adecuada nutrición para todos los miembros en todo tiempo. A grandes rasgos la seguridad alimentaria se puede medir a través de 5 dimensiones (CONEVAL, 2010) que se enlistan a continuación:

- Disponibilidad de alimentos
- Acceso o capacidad para adquirir los alimentos
- Consumo de alimentos
- Aprovechamiento biológico de los alimentos consumidos
- Estado nutricional de cada persona

La dimensión “Disponibilidad de alimentos” está relacionada con la forma en que se producen los alimentos su almacenamiento y movilización, sin embargo, las condiciones sociales y culturales se integran para la forma en cómo se adquieren los alimentos, además debe garantizarse que sean inocuos, es decir, sin sustancias dañinas para la salud (CONEVAL, 2010).

IX. Marco legal

Las regulaciones acerca de la contaminación emergente están dirigidas principalmente al monitoreo de niveles permisibles en el recurso hídrico, al ser el principal medio de movilidad, esto para controlar los niveles de ciertas sustancias contaminantes de manera que no sean dañinas para la salud, sin embargo, existen otras fuentes de contaminación difusa como el papel de la agricultura y ganadería con el uso de pesticidas y antibióticos, respectivamente (Caviedes et al., 2017).

Existen organismos que están encargados de regular y modificar sustancias prioritarias en el ámbito de políticas de aguas particularmente en la Unión Europea como, la Directiva 2013/39/UE que está a cargo de modificar la DMA (Directiva Marco del Agua 2000/60/EC) y la EQSD (Environmental Quality Standards Directive); dentro del marco regulatorio de sustancias prioritarias se nombran 45 de las cuales 21 son identificadas como peligrosas, se mencionan contaminantes como pesticidas, fármacos, productos de higiene personal como perfumes, bloqueadores, repelentes, retardantes de llama, antisépticos como triclosán o el clorofeno, retardantes de llama como los difenil éteres policromados (PBDEs), tetrabromo, bisfenol A, tris (2-cloroetil) fosfato, cocaína, cannabinoides y anfetaminas (Henriquez, 2012).

Los límites permisibles aún están sujetos a discusión en otros países, así como los posibles compuestos a legislar, sin embargo, en muchos casos se encuentran de por medio intereses políticos, económicos o sociales como lo es el caso de la regulación de los estrógenos. Ramírez-Sánchez et al., 2015, dan a conocer que en 2021 se la Comisión Europea propuso establece un límite para concentración anual de etinilestradiol, sin embargo, esta autora refiere que hay una fuerte oposición por parte de la industria farmacéutica, afirmando que hay poca evidencia de los daños que estos podrían ocasionar.

Ramírez-Sánchez y colaboradores en 2015, reportan que en México, desde 2012 se propuso una lista de 49 contaminantes (cuadro 11), y se han clasificado

considerando disponibilidad, frecuencia de uso, la importancia de mecanismo de acción, dentro de los fármacos a considerar para una regulación futura se encuentra el ibuprofeno.

Cuadro 11. Grupos de contaminantes emergentes encontrados en el medio ambiente Sánchez, para México (Ramírez-et al.,2015).

Grupo	Compuesto
Esteroides y hormonas	1. Estradiol 2. Testosterona 3. Estrona 4. α -etinilestradiol 5. β -etinilestradiol
Productos para el cuidado personal	6. Galaxolida 7. Tonalida y otros (PCP) 8. Triclosan (enjuague bucal) 9. Oxibenzona 10. DEET (repelente de insectos)
Industriales	11. Pentaclorofenol (PCP) 12. Nonifenoles 13. Bisfenol A 14. Compuestos organiestánicos (organotinas) 15. Butilbencilftalato (BuBeP)
Fármacos	17. Ácido mefenámico 18. Sulfasalazina 19. Ibuprofeno 20. Diclofenaco 21. Nimesulida 22. Ketoprofeno 23. Metil de ácido salicílico 24. Gemfibrozil 25. Ácido clofíbrico y metabolitos 26. Benzafibrate 27. Carbamacepina 28. Salvasartan 29. Metilprednisolona 30. Tadalafilo 31. Dexametasona 32. Clofenamina 33. Astemisol 34. Amlodipino 35. Diltiazem 36. Pentoxifilina 37. Avilamicina 38. Metoprol 39. Citrato de sildenafilo
Antibióticos	40. Sulfametoaxol 41. Trimetropina 42. Ciprofloxacino 43. Roxitromicina 44. Norfloxacino 45. Sulfadiazina 46. Cloranfenicol 47. Conazol 48. Imidazoles y triazoles 49. Sulfaclopiridazina

X. Metodología

10.1 Localización del estudio

El establecimiento del cultivo hidropónico se realizó entre los meses de enero a abril del 2021 Departamento de Investigación en Ciencias Agrícolas (DICA).

10.2 Desarrollo experimental

Es importante mencionar que para el establecimiento del sistema hidróponico conocido como Nutrient Film Technique (NFT) utilizado en la producción de hortalizas se contó con el apoyo del Dr. Rolando Rueda y la M.C. Miriam Romero.

Material: Para el presente estudio se seleccionó la lechuga *Lactuca sativa* L. variedades Cv Alexandria (francesa) y Natalia (verde), la acelga *Beta vulgaris* var. Cicla L. Cv Rainbow, ya que representan los cultivos de mayor en producción para el estado de Puebla.

Germinación: Para esta etapa la semilla peletizada de *Lactuca sativa* L. variedades Cv Alexandria (francesa) y Natalia (verde), y la acelga *Beta vulgaris* var. Cicla L. Cv Rainbow (figura 4). Se colocaron en sustrato de perlita para la emergencia del almácigo, durante aproximadamente 25 días hasta el brote de 2-3 hojas verdaderas (figuras 5 y 6).



Figura 4. Semilla peletizada de lechuga y acelga (Foto cortesía de Miriam Hernández).



Figura 5. Almacigo en crecimiento-sustrato perlita (Foto cortesía de Miriam Hernández).



Figura 6. Almacigo listo para el trasplante en cama flotante (Foto cortesía de Miriam Hernández).

Camas flotantes: Para la conformación del tratamiento de raíz flotante, se utilizaron contenedores de plástico con una capacidad de 20 litros, las plantas fueron sostenidas con placas de unicel, mientras que el sistema radicular fue envuelto en una espuma de goma que sirve de protección y sujeción (figura 7) (Moreno-Pérez et al., 2015). Para proporcionar oxígeno disuelto a la raíz, se agitaba el agua aproximadamente 3 veces por día, esta etapa tuvo una duración de 12 días, con la finalidad de adaptación de la plántula para su posterior trasplante al sistema hidróponico conocido como Nutrient Film Technique (NFT).

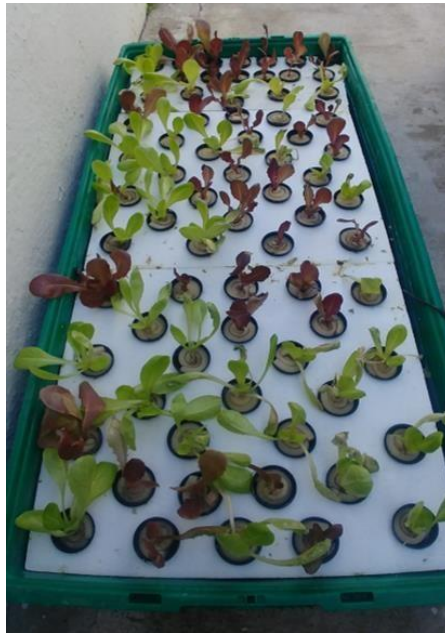


Figura 7. Sistema de cama flotant (Foto cortesía de Miriam Hernández).

Establecimiento del cultivo hidropónico: Para la presente investigación se utilizó un macrotúnel, donde se localiza el sistema conocido como Nutrient Film Technique (NFT), dividido en dos sectores de riego uno horizontal y otro tipo piramidal (figura 8), con un tanque de almacenamiento de 300 litros para cada sector y una bomba sumergible que proporcionaba una presión de operación de $\frac{3}{4}$ de caballos de fuerza. El sistema cuenta con un temporizador para sincronizar tiempos de 15 minutos de riego y 45 minutos de descanso durante las 24 horas.

El sistema básico "NFT" se constituye de cinco elementos iniciales:

- Estanque colector

- Canales de cultivo
- Bomba red de distribución
- Tubería colectora

Los sectores horizontales y tipo piramidal que componen el sistema NFT, se designaron para el tratamiento control e ibuprofeno respectivamente. Se trasplantaron al sistema NFT, alrededor de 150 plantas incluyendo las tres variedades, las cuales se dividieron en partes iguales para el grupo control y el tratamiento de ibuprofeno a una concentración.

Solución nutritiva: La solución nutritiva estándar se efectuó en una dosis para ambos grupos y se ajustó a un rango de conductividad eléctrica de 1.48 a 2.00 y un pH de 6.8 a 7.0, parámetros que fueron tomados diariamente; cabe mencionar que para el establecimiento de los valores para la solución nutritiva fue necesario realizar un análisis de agua empleada para el sistema.

Adición de contaminante: El ibuprofeno fue adquirido en Sigma-Aldrich (pureza > 98%, peso molecular 206.28 g/mol), el cual se agregó en una concentración de 2.65 mg/L, tratamiento agregado para los dos cultivos de lechuga y acelga.

Recolección y preparación de las muestras. El muestreo fue realizado 25 días después del trasplante al sistema recirculante NFT para la lechuga y 40 días después para la acelga, justo cuando el cultivo de lechuga y acelga alcanzó su momento de cosecha, las muestras fueron tomadas al azar, tres unidades experimentales por variedad por grupo, siempre cuidando que se eligieran unidades del medio del sistema para de esta manera evitar el efecto borde; por lo que al final de la recolección se obtuvieron 18 muestras.

Una vez seleccionadas las muestras, se separaron en biomasa aérea y radicular, las hojas que es la parte comestible, se secaron en un horno de secado marca: RIOSSA DIGITAL, a una temperatura de 40°, cuando se llegó a su peso constante, se almacenaron en recipientes pequeños de plástico para su etiquetado y almacenamiento en refrigeración, para su posterior análisis en laboratorio.

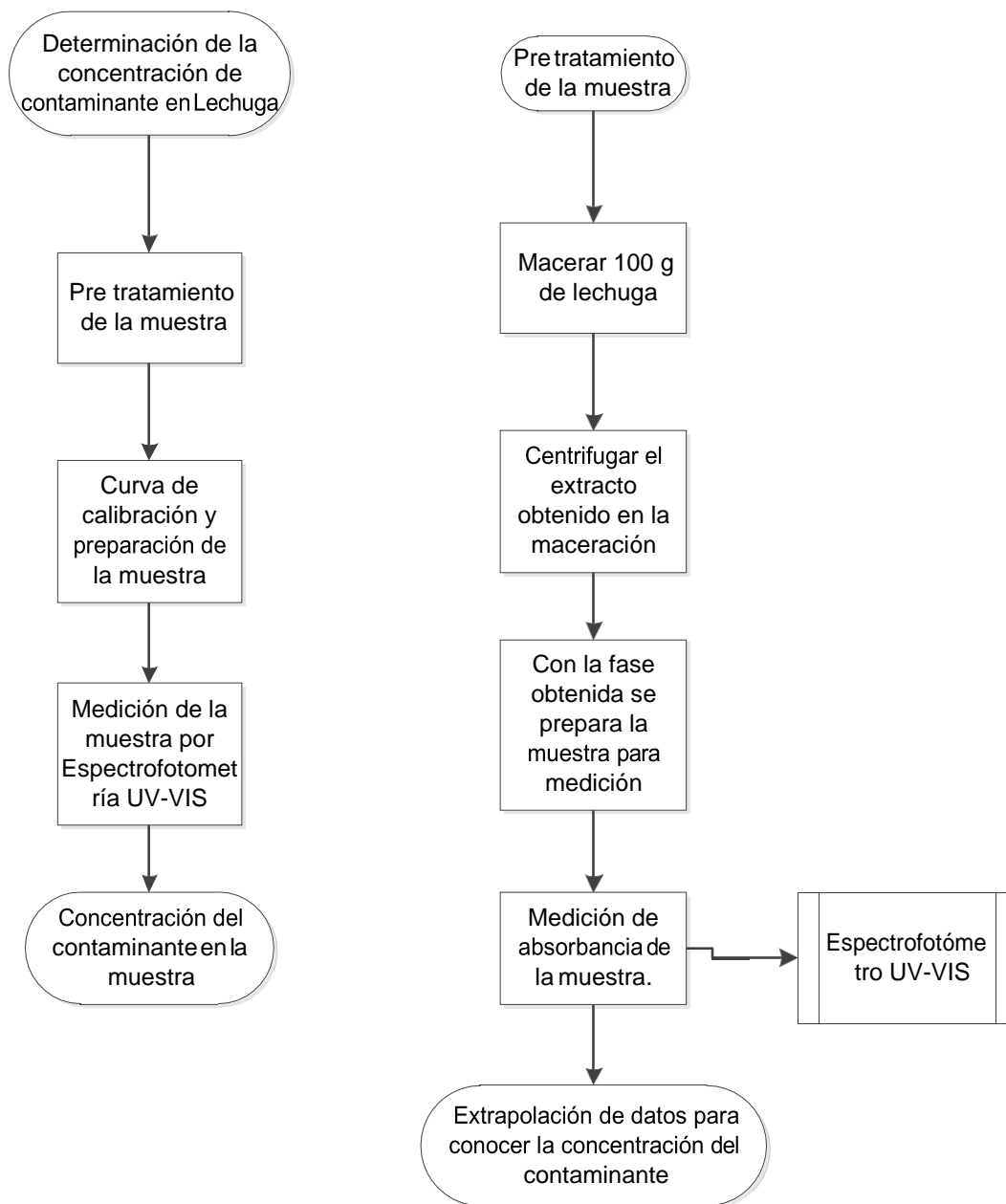
Preparación y análisis exploratorio de muestras de lechuga y acelga. La preparación de las muestras para la lectura en el espectrofotómetro UV- VIS se realizó con la medición de 0.20 gr de polvo de lechuga o acelga, utilizando una balanza analítica para una mayor precisión, posteriormente se maceraron con 5 ml de alcohol metílico (CH₃OH), se colocó la muestra en tubos eppendorf, las muestras se agitaron durante una hora y centrifugaron a 3600 rpm durante 40 minutos.

El líquido sobrenadante se leyó con un escaneo de longitud de onda que va de 190 a 400 nm.

Se analizó una curva patrón, blanco y las muestras problema. Se utilizan disoluciones control de concentraciones conocidas, que deben tratarse de manera idéntica a la disolución a valorar. El valor obtenido en la cuantificación de la disolución muestra debe estar comprendido entre los valores límites de las

disoluciones

conocidas.



10.3 Revisión bibliográfica sobre seguridad alimentaria.

Se realizó una revisión bibliográfica con el objetivo de documentar la problemática asociada con los contaminantes emergentes y los cultivos, también se analizaron las vías de exposición ambiental, así como la problemática social que esta contaminación implica.

Se hizo la búsqueda en los siguientes sitios web:

CABI [https://www-cabdirect-](https://www-cabdirect-org.proxydgb.buap.mx/cabdirect)

[org.proxydgb.buap.mx/cabdirect](https://www-cabdirect-org.proxydgb.buap.mx/cabdirect)

ProQuest [https://search-proquest-](https://search-proquest-com.proxydgb.buap.mx/pqdtglobal/)

[com.proxydgb.buap.mx/pqdtglobal/](https://search-proquest-com.proxydgb.buap.mx/pqdtglobal/)

Eric <https://eric.ed.gov/>

Academic microsoft <https://academic.microsoft.com/home>

Cambridge <https://www-cambridge-org.proxydgb.buap.mx/core>

PNAS <https://www-pnas-org.proxydgb.buap.mx/>

En cada buscador se utilizaron combiaciones de operadores booleanos, en resumen:

OPERADORES BOLEANOS PARA BÚSQUEDA				
			RESULTADO	SÍMBOLO
AND / Y	Intersección	Todos los términos empleados	Reduce o especifica la búsqueda	+
OR / O	Unión		Cualquier término	
AND NOT / NO	Exclusión		Primer término	Negación s
XOR				
" "	Uso de comillas para			
()	Búsqueda			
~	B			

XI. Resultados y discusión

Después de establecer las condiciones del cultivo hidropónico para el crecimiento de las hortalizas de la lechuga y la acelga, se trasladaron al macrotúnel donde se estableció el cultivo hidropónico, en las figuras 8 y 9 se presentan este resultado.



Figura 8. Macrotúnel para el establecimiento del cultivo hidropónico (Foto cortesía de Miriam Hernández)



Figura 9. Sistema recirculante (Foto cortesía de Miriam Hernández)

Resultados de la producción de hortalizas en sistema recirculante

De acuerdo a Beltrano y colaboradores en 2015, las hortalizas de hojas como la lechuga y la acelga son de los cultivos con un alto valor nutritivo y además de los más fáciles que se pueden cultivar con la técnica hidropónica; debido al aumento de la demanda de su producción y comercio, es necesario controlar los estándares de calidad para garantizar hortalizas libres de sustancias químicas. Por otro lado, los autores establecen que el sistema hidropónico mayormente utilizado para cultivar hortalizas es el sistema recirculante, a través del cual la solución nutritiva y agua son suministradas a cada planta de manera continua, que es absorbida por la parte radicular, por lo que se constituye un sistema de tipo cerrado. Las plantas se cultivan en ausencia de sustrato y se encuentran suspendidas en canales de cultivo. Lo que permitió que los cultivos lechuga y acelga fuera exitosos, es importante señalar que no se observaron cambios morfológicos visibles en las hortalizas.

Resultado del estudio exploratorio de adsorción de ibuprofeno en lechuga y acelga

En el cuadro 12 se presentan los resultados del estudio exploratorio de la adsorción de ibuprofeno en acelga y dos variedades de lechuga. De acuerdo a los resultados se observa que la lechuga roja o sangría es la que es capaz de adsorber mayor cantidad de ibuprofeno, el 50% de la concentración original, es importante recordar que la solución problema se encuentra constantemente en movimiento, otro punto que se debe resaltar es el costo del producto, por que la población se inclinará a su compra. La capacidad de adsorción de la lechuga verde es menor, 25 % d la concentración original. Con respecto a la acelga es la hortaliza que en condiciones de invernadero solo adsorbe en promedio 20 % de la concentración original. Es importante señalar que el estudio se realizó en hoja de hortaliza, es decir, solo la fracción que el consumidor principalmente consume.

Los resultados observados estan de acuerdo con diferentes autores como se presenta a continuación.

Cuadro 12. Resultados del estudio exploratorio de adsorción de ibuprofeno en lechuga y acelga

		Abs máx a 264 nm	Conc. en ppm
Solución de ibuprofeno		0.600	400.0
HA	Control	0.002	1.3
P1	Solución de tratamiento	0.533	355.3
HORTALIZA	TRATAMIENTO		
ACELGA 1	Testigo	0.002	1.3
ACELGA 2	IBUPROFENO	0.114	76.0
ACELGA 3	IBUPROFENO	0.119	79.3
LECHUGA 1V (verde)	Testigo	0.003	2.0
LECHUGA 2V (verde)	IBUPROFENO	0.165	110.0
LECHUGA 3V (verde)	IBUPROFENO	0.176	117.3
LECHUGA 1R (roja o sangría)	Testigo	0.004	2.7
LECHUGA 2R (roja o sangría)	IBUPROFENO	0.340	226.7
LECHUGA 3R (roja o sangría)	IBUPROFENO	0.331	220.7

La principal fuente de transferencia de los contaminantes emergentes a la cadena alimentaria se da a través de los vectores agua, suelo y aire, permitiendo la acumulación de fármacos o productos de cuidado personal, en tejidos y raíces de hortalizas cultivadas de importancia económica (Kalavrouziotis & Koukoulakis, 2010). Las plantas tienen mecanismos de adsorción específicos para la adquisición de nutrientes por medio de suelo o agua, de esta manera es posible que asimile sustancias tóxicas que se encuentran en el suelo y que comparten su composición química.

En un estudio se investigó la capacidad de la zanahoria (*Daucus corota* L.) y la lechuga (*Lactuca sativa* L.), dos plantas que generalmente se comen crudas, para captar tetraciclina y amoxicilina (dos antibióticos de uso común) del agua de riego para evaluar la exposición indirecta de antibióticos a través del consumo de

vegetales crudos, concluyendo que ambas hortalizas adsorben el contaminante (Azanu et al., 2016).

En 2017 Hurtado y colaboradores realizaron un estudio donde relacionaron la respuesta morfológica y metabolómica de la lechuga a la exposición de contaminantes emergentes, la irrigación de cultivos de lechuga con 11 diferentes tipos de contaminantes entre los que se mencionan productos de cuidado personal, donde la actividad metabolómica tuvo un efecto negativo, parámetros como el peso y ancho de hojas disminuyeron, así como la cantidad de clorofila en la planta (Hurtado et al., 2017).

La lechuga Batavia (*Lactuca sativa*) cultivada en condiciones controladas se regó con contaminantes orgánicos emergentes como antiinflamatorios no esteroideos, sulfonamidas, bloqueadores β , estrógenos fenólicos, anticonvulsivos, estimulantes, almizcles policíclicos, biocidas) a diferentes concentraciones (0 - 40 $\mu\text{g L}^{-1}$). Se encontraron grandes diferencias en los factores de concentración en raíces y hojas, esto dependiendo de la persistencia de los contaminantes y las propiedades fisicoquímicas específicas de cada uno (Hurtado et al., 2016).

La habilidad de traslocación y absorción de los contaminantes: triclosán carbamazepina y atenolol en diferentes órganos de la planta de maíz, rábano y lechuga donde se encontraron diferencias en la absorción en raíces; existen otros factores que interfieren en el proceso como el efecto de la transpiración en los tejidos aéreos como variable fisiológica la cual desempeña un papel importante en la acumulación de productos de cuidado personal y otros contaminantes emergentes (Beltrán et al., 2020).

En otro estudio realizado por Margenat y colaboradores en 2019 evaluaron el riesgo potencial de la ocurrencia de elementos traza y microcontaminantes orgánicos en suelo y hojas de lechuga en 4 campos de cultivo en un área periurbana, así como los factores de bioacumulación y sus posibles impactos en los componentes de las hojas (clorofila, nitratos, lípidos y contenido de carbohidratos), además evaluaron la exposición humana asociada con el consumo de vegetales cultivados en zonas periurbanas donde se utilizó el cociente de peligro (HQ) para oligoelementos y el umbral de preocupación toxicológico para microcontaminantes orgánicos; no se

encontraron diferencias significativas entre zonas, sin embargo, las concentraciones fueron mayores en los cultivos periurbanos, pb y cd mostraron una mayor afinidad con la lechuga. Para microcontaminantes orgánicos el más frecuente fue la carbamazepina.

VARIABLES como la cantidad de fenoles, cambios en la morfología, cambios en la composición de la pared celular y por último la tasa de germinación, fueron evaluadas en *Lactuca sativa* mediante la presencia de ibuprofeno a diferentes concentraciones, concluyendo que este fármaco tiene efectos sobre el aumento en el contenido de compuestos fenólicos, disminuye la tasa fotosintética, así como cambios en la composición de la pared celular, sin embargo, estos análisis no permitieron determinar con certeza la incorporación de ibuprofeno en los tejidos de la hortaliza (Moro, 2018).

En un experimento realizado en Murcia se estudiaron 5 variedades de hortalizas donde se incluyó a la lechuga (perejil, col, brócoli y calabacín) regadas con agua procedente de una estación de depuración de aguas residuales con una composición en el efluente de 5 fármacos, solo se detectó ibuprofeno en un rango de concentración 15.40 ± 0.32 ng/g en hojas de lechuga mini romana variedad Jabeira (González, 2018).

Resultado general de la revisión sobre seguridad alimentaria.

Con respecto al tema de seguridad alimentaria se publicó la revisión en la revista RD-ICUAP (Vol 7, No. 20, publicado el 15 de mayo de 2020). La revista actualmente esta indexada en Latin Index, el artículo se tituló Contaminantes emergentes: amenaza para la seguridad alimentaria en México (Ver Anexo 1).

En general, es necesario establecer políticas públicas que consideren fármacos y productos de cuidado personal como contaminantes emergentes, por ello sería importante, adicionar etiquetas con información adecuada para un consumo responsable, es importante recordar la poca información que existe al respecto; por otro lado también es importante mejorar los tratamientos de descontaminación de agua, lo cual facilitaría idealmente la disminución y por ende reducción de

contaminantes, por ello es importante contar con con evidencia científica para reconocer los riesgos de la exposición humana a estos contaminantes y poder tomar medidas precautorias al respecto.

XII. Conclusiones

- Se establecieron las condiciones para el cultivo hidropónico de lechuga (*Lactuca Sativa*) y acelga (*Beta vulgaris*), obteniendo un resultado exitoso de la cosecha. Los cultivos utilizados son apropiados para experimentos de este tipo, ya que su tiempo de crecimientos es relativamente rápido, siempre y cuando ya se tenga estandarizado el proceso.
- Con respecto a la adsorción de ibuprofeno en lechuga y acelga cultivadas en hidroponía, se observa que ambos vegetales adsorben el contaminante, sin embargo se requiere de estudio detallado para conocer el estadio en el que los vegetales son que más susceptibles de contaminarse, así como también se considera de suma importancia conocer que parte de la planta es más propensa a adsorber el contaminante.
- De acuerdo al resultado exploratorio obtenido y de la revisión bibliográfica realizada para analizar la problemática de la presencia de contaminantes emergentes en alimentos, se concluye que las hortalizas son susceptibles de adsorber diferentes contaminantes, sobre todo si se utiliza agua residual sin tratamiento adecuado; en este caso particular se observó la adsorción de ibuprofeno, lo que implica la necesidad de profundizar en el estudio para conocer con mayor precisión los riesgos a la salud.

XIII. Referencias

- Acosta, F. E. (2015). *Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Agrarias. [Tesis de licenciatura, Universidad de guayaquil].* [http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/8647/1/Acosta Proaño Felix Enrique.pdf](http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/8647/1/Acosta%20Proa%C3%B1o%20Felix%20Enrique.pdf)
- Aguilar, F. (2013). *Contaminantes emergentes: efectos a la salud y medio ambiente así como los tratamientos para su remoción de las aguas residuales domésticas.* [Tesis de licenciatura, Instituto Politecnico Nacional Unidad]. Repositorio Dspace. <http://tesis.ipn.mx/handle/123456789/25399>
- Al-rifai, J. H., Gabelish, C. L., & Schafer, A. I. (2007). Occurrence of pharmaceutically active and non-steroidal estrogenic compounds in three different wastewater recycling schemes in Australia. *Chemosphere*, 69(5), 803–815. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2007.04.069>
- Andreozzi, R., Marotta, R., & Paxéus, N. (2003). Pharmaceuticals in STP effluents and their solar photodegradation in aquatic environment. *Chemosphere*, 50(10), 1319–1330. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(02\)00769-5](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(02)00769-5)
- Azanu, D., Mortey, C., Darko, G., Weisser, J. J., Styrihave, B., & Abaidoo, R. C. (2016). Uptake of antibiotics from irrigation water by plants. *Chemosphere*, 157, 107–114. doi:10.1016/j.chemosphere.2016.05.035
- L Damià Barceló y María José López de Alda, (2008). *Contaminación y calidad química del agua: el problema de los contaminantes emergentes.* Instituto de Investigaciones Químicas y Ambientales-CSIC (Barcelona).
- Baz, I. (2019). *Impacto sobre la salud y el medio.* [Trabajo de fin de grado, Facultad de farmacia, Universidad Complutense]. <http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/LAURA%20BAZ%20SANZ.pdf>
- Beltrán, E. M., Pablos, M. V, Fernández T, C., Porcel, M. A., & González-Doncel, M. (2020). Uptake of atenolol, carbamazepine and triclosan by crops irrigated with reclaimed water in a Mediterranean scenario. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 191(110171). <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110171>
- Beltrano, J., Gimenez, D. O., Garbi, M., Martínez, S. B., Ronco, B. L., Vasicek, A. L., Andreau, R., Carbone, A. V, & Ruscitti, M. F. (2015). Cultivo en hidroponía. In coordinacion general de J. Beltrano (Ed.), *Libros de Cátedra* (Primera ed). Editorial de la Universidad de La Plata. <https://doi.org/10.35537/10915/46752>
- Bodzek, M., & Dudziak, M. (2006). Elimination of steroidal sex hormones by conventional water treatment and membrane processes. *Science Direct*, 198(September 2005), 24–32. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2006.09.005>
- Boxall, A. B. A., Rudd, M. A., Brooks, B. W., Caldwell, D. J., Choi, K., Hickmann, S., Innes, E., Ostapyk, K., Staveley, J. P., Verslycke, T., Ankley, G. T., Beazley, K. F., Belanger,

- S. E., Berninger, J. P., Carriquiriborde, P., Coors, A., DeLeo, P. C., Dyer, S. D., Ericson, J. F., Van Der Kraak, G. (2012). Pharmaceuticals and personal care products in the environment: What are the big questions? *Environmental Health Perspectives*, 120(9), 1221–1229. <https://doi.org/10.1289/ehp.1104477>
- Brooks, B. W., Berninger, J. P., Ramirez, A. J., & Huggett, D. B. (2012). Perspectives on Human Pharmaceuticals in the Environment. In D. . Hugget & B. . Brooks (Eds.), *Human Pharmaceuticals in the Environment: Current and Future Perspectives, Emerging Topics in Ecotoxicology* (Vol.4). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3473-3>
- Campos, C., Alvarado, E., & Becerril, J. E. (2017). Determinación de fármacos y metabolitos en muestras de agua, suelo y sedimento de la zona lacustre de la ciudad de México, por extracción acelerada con disolventes y cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, Desarrollo y Práctica.*, 10(3), 285–302.
- Carranza, C., Octavio, J., Diaz, L., Miranda, D., & Chaves, B. (2009). Análisis del crecimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.) ‘ Batavia ’ cultivada en un suelo salino de la Sabana de Bogotá. *Agronomía Colombiana*, 27(1)(2009), 41–48.
- Cartagena, C. (2011). Emerging organic pollutants in environment: Pharmaceutical products. *Revista Lasallista de Investigación*, 8(2):143–153.
- Carvalho, I. T., & Santos, L. (2016). Antibiotics in the aquatic environments : A review of the European scenario. *Environment International*, 94:736–757. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.06.025>
- Castro-Pastrana, L. I., Baños-Medina, M. I., López-Luna, M. A., & Torres-García, B. . (2015). Ecofarmacovigilancia en México: perspectivas para su implementación Ecopharmacovigilance in Mexico: prospects of its implementation. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 46(3):16–40.
- Castro-Pastrana, L. I., Cerro-López, M., Toledo-Wall, M. L., Gómez-Oliván, L. M., & Saldívar-Santiago, M. D. (2021). Analysis of pharmaceuticals in wastewater of three hospitals in the city of Puebla, Mexico. *Ingeniería Del Agua*, 25(1), 59–74. <https://doi.org/https://doi.org/10.4995/la.2021.13660>
- Caviedes, D. I., Delgado, D. R., & Olaya, A. (2017). Normatividad ambiental dirigida a regular la presencia de los productos farmacéuticos residuales en ambientes acuáticos. *Revista Jurídica Piélagus*, 16(1), 121. <https://doi.org/10.25054/16576799.1445>
- CEDRSSA. (2020). *Análisis de la producción y consumo de hortalizas*. Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria. Palacio legislativo de San Lázaro, ciudad de México.
- CONEVAL. (2010). Dimensiones de la seguridad alimentaria. In *Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social* (Vol. 2, Issue 1).
- Correia, A. (2018). *Comportamiento ambiental del ibuprofeno y el diclofenac en suelos*

venezolanos [Universidad de Carabobo].
<http://mriuc.bc.uc.edu.ve/bitstream/handle/123456789/5021/acorreia.pdf?sequence=1>

- Correia, A., Subero, N., Manganiello, L., & Marcano, L. (2017). Determination of the adsorption capacity of ibuprofen and diclofenac in agricultural venezuelan soils. Determinación de la capacidad de adsorción del ibuprofeno y el diclofenac en suelos agrícolas venezolanos. *Revista INGENIERÍA UC*, 24(1), 63–72.
- De la Luz, Y. E. (2020). Automedicación con analgésicos en México. *Ciencia*, 71(2), 16–21.
- Deblonde, T., Cossu-leguille, C., & Hartemann, P. (2015). Emerging pollutants in wastewater: A review of the literature. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 214(6), 442–448. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2011.08.002>
- Ebele, A. J., Abou-Elwafa Abdallah, M., & Harrad, S. (2017). Pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in the freshwater aquatic environment. *Emerging Contaminants*, 3(1), 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.emcon.2016.12.004>
- Ellis, B. J. (2008). Assessing sources and impacts of priority PPCP compounds in urban receiving waters.
- Rodríguez-Eugenio, N., McLaughlin, M. y Pennock, D. 2019. La contaminación del suelo: una realidad oculta! Roma, FAO.
- García-Gómez, C., Gortáres-Moroyoqui, P., & Drogui, P. (2011). Contaminantes emergentes : efectos y tratamientos de remoción. Emerging contaminants : effects and removal treatments. *Revista Química Viva*, 10(2), 96–105.
- García, M. Á. S. (2017). *Contaminantes emergentes y cadena alimentaria. Productos farmacéuticos, de cuidado personal y drogas de abuso*. Academia de farmacia "Reino de Aragón". <https://www.academiadefarmaciadearagon.es/docs/Documentos/Documento98.pdf>.
- Gibson, R., Durán-álvarez, J. C., León, K., Chávez, A., & Jiménez, B. (2010). Chemosphere Accumulation and leaching potential of some pharmaceuticals and potential endocrine disruptors in soils irrigated with wastewater in the Tula Valley , Mexico. *Chemosphere*, 81(11), 1437–1445. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.09.006>
- Gil, M. J., Soto, A. M., Usma, J. I., & Gutiérrez, O. (2012). Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos. *Producción + Limpia*, 7(2), 52–73. <http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v7n2/v7n2a05.pdf>
- Gong, H., Chu, W., Hiu, S., & Yu-chen Lin, A. (2017). Ibuprofen degradation and toxicity evolution during Fe 2 þ / Oxone / UV process. *Chemosphere*, 167, 415–421. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.10.027>
- González-González, E. D., Gómez-Oliván, L. M., Galar-Martínez, M., Vieyra-Reyes, P., Islas-Flores, H., García-Medina, S., & Pérez-Pastén, R. (2014). Metals and Nonsteroidal Anti-inflammatory Pharmaceuticals in Reservoir (Mexico) Induce

Oxidative Stress in Gill, Blood, and Muscle of Common Carp (*Cyprinus carpio*). *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 67(2), 281–295. <https://doi.org/10.1007/s00244-014-0048-0>

González, M. (2018). *Estudio y predicción de la absorción de contaminantes emergentes procedentes de aguas regeneradas en cultivos hortícolas de la Región de Murcia* [Universidad Católica de Murcia]. <https://www.educacion.gob.es/teseo/imprimirFicheroTesis.do?idFichero=qb0KRupcl30%3D>

González-Naranjo V. (2013). Efectos sinérgicos en el análisis ecotoxicológico del Ibuprofeno. Aproximación cuantitativa del riesgo ambiental. [tesis doctoral, Universidad de Alcalá]. Recuperado a partir de: <http://eprints.imdea-agua.org:13000/372/>

Halling-Sorensen, B., Nors Nielsen, S., Lanzky, P. F., Ingerslev, F., Holten Litzthof, H. C., & Jorgensen, S. E. (1998). Occurrence, Fate and Effects of Pharmaceutical Substances in the Environment- A Review. *Chemospher*, 36(2), 357–393.

Henriquez, D. (2012). *Presencia de contaminantes emergentes en aguas y su impacto en el ecosistema. Estudio de caso: productos farmacéuticos en la cuenca del río Biobío, Región del Biobío, Chile*. Universidad de Chile. Disponible en <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/102748>

Hernando, M. D., Mezcuca, M., Fernández-Alba, A. R., & Barceló, D. (2006). Environmental risk assessment of pharmaceutical residues in wastewater effluents, surface waters and sediments. *Science Direct*, 69, 334–342. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2005.09.037>

Homem, V., & Santos, L. (2011). Degradation and removal methods of antibiotics from aqueous matrices e A review. *Journal of Environmental Management*, 92(10), 2304–2347. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.05.023>

Hou, S., Zheng, N., Tang, L., & Ji, X. (2018). Effects of cadmium and copper mixtures to carrot and pakchoi under greenhouse cultivation condition. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 159, 172–181. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.04.060>

Hurtado, C., Parastar, H., Matamoros, V., Piña, B., Tauler, R., & Bayona, J. M. (2017). Linking the morphological and metabolomic response of *Lactuca sativa* L exposed to emerging contaminants using GC × GC-MS and chemometric tools. *Scientific Reports*, 7(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-017-06773-0>

Jiang, J. Q., Zhou, Z., & Sharma, V. K. (2013). Occurrence, transportation, monitoring and treatment of emerging micro-pollutants in waste water - A review from global views. *Microchemical Journal*, 110, 292–300. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2013.04.014>

Kalavrouziotis, I. K., & Koukoulakis, P. H. (2010). Elemental antagonism in vegetables under treated municipal wastewater. *Journal of Plant Interactions*, 5(2), 101–109. <https://doi.org/10.1080/17429140903438092>

Kim, S. D., Cho, J., Kim, I. S., Vanderford, B., & Snyder, S. A. (2007). Occurrence and removal of pharmaceuticals and endocrine disruptors in South Korean surface ,

- drinking , and waste waters. *Water Research*, 41(5), 1013–1021. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2006.06.034>
- Kimura, K., Toshima, S., Amy, G., & Watanabe, Y. (2004). Rejection of neutral endocrine disrupting compounds (EDCs) and pharmaceutical active compounds (PhACs) by RO membranes. *Journal Of Membrane Science*, 245, 71–78. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2004.07.018>
- Kitamura, S., Suzuki, T., Sanoh, S., Kohta, R., Jinno, N., Sugihara, K., Yoshihara, S., Fujimoto, N., Watanabe, H., & Ohta, S. (2005). Comparative study of the endocrine-disrupting activity of bisphenol A and 19 related compounds. *Toxicological Sciences*, 84(2), 249–259. <https://doi.org/10.1093/toxsci/kfi074>
- Kummerer, K. (2010). Pharmaceuticals in the Environment. *Annual Review of Environment and Resources*, 35(1), 57–75. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-052809-161223>
- Lata, C. J., Solís, M., Reyes, D., Solís, A., Pérez, H. I., & Gil, J. L. (2015). Evaluación Económica Del Cultivo De Acelga (Beta Vulgaris var . Cicla) Usando Biol Como Fertilizante Orgánico. *International Multilingual Journal of Contemporary Research*, 3(2), 75–82. <https://doi.org/10.15640/imjcr.v3n2a8>
- Luja-Mondragón, M., Gómez, L. M., Sanjuan, N., Islas, H., Orozco, J. M., Heredia, G., Galar, M., & Dublán, O. (2019). Science of the Total Environment Alterations to embryonic development and teratogenic effects induced by a hospital effluent on *Cyprinus carpio* oocytes. *Science of the Total Environment*, 660, 751–764. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.072>
- Margenat, A., Matamoros, V., Díez, S., Cañameras, N., Comas, J., & Bayona, J. M. (2017). Occurrence of chemical contaminants in peri-urban agricultural irrigation waters and assessment of their phytotoxicity and crop productivity. *Science of the Total Environment*, 599–600, 1140–1148. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.025>
- Margenat, A., Matamoros, V., Díez, S., Cañameras, N., Comas, J., & Bayona, J. M. (2018). Occurrence and bioaccumulation of chemical contaminants in lettuce grown in peri-urban horticulture. *Science of the Total Environment*, 637–638, 1166–1174. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.035>
- Margenat, A., Matamoros, V., Díez, S., Cañameras, N., Comas, J., & Bayona, J. M. (2019). Occurrence and human health implications of chemical contaminants in vegetables grown in peri-urban agriculture. *Environment International*, 124(October 2018), 49–57. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.12.013>
- Martín, A. (2019). *Contaminantes emergentes: origen y destino*. [Tesis de maestría, Universidad de Acalá]. Disponible en <info:eu-repo/semantics/masterThesis>.
- Moreno-Ortiz, V. C., Martínez-Núñez, J. M., Kravzov-Jinich, J., Pérez-Hernández, L. A., Moreno-Bonett, C., & Altagracia-Martínez, M. (2013). Los medicamentos de receta de origen sintético y su impacto en el medio ambiente. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 44(4), 17–29.

- Moreno-Pérez, E. C., Sánchez-Del Castillo, F., Gutiérrez-Tlaque, J., González-Molina, L., & Pineda-Pineda, J. (2015). Greenhouse lettuce production with and without nutrient solution recycling. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 21(1), 43–55. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh>.
- Moro, J. (2018). *Efectos de la presencia del ibuprofeno en el agua de riego para el cultivo de lechuga. [Trabajo de fin de grado, Universidad de Coruña]*. Repositorio universidad de coruña <http://hdl.handle.net/2183/24181>
- Narumiya, M., Nakada, N., Yamashita, N., & Tanaka, H. (2013). Phase distribution and removal of pharmaceuticals and personal care products during anaerobic sludge digestion. *Journal of Hazardous Materials*, 260(2013), 305–312. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.05.032>
- Nguyen, L. N., Hai, F. I., Kang, J., Price, W. E., & Nghiem, L. D. (2012). Removal of trace organic contaminants by a membrane bioreactor-granular activated carbon (MBR-GAC) system. *Bioresource Technology*, 113, 169–173. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.10.051>
- Olvera-Néstor, C. G., Morales-Avila, E., Gómez-Oliván, L. M., Galár-Martínez, M., García-Medina, S., & Neri-Cruz, N. (2016). Biomarkers of Cytotoxic, Genotoxic and Apoptotic Effects in *Cyprinus carpio* Exposed to Complex Mixture of Contaminants from Hospital Effluents. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 96(3), 326–332. <https://doi.org/10.1007/s00128-015-1721-3>
- Ortega, J. A., Ferrís i, J., Ortí, A., Lopéz, A., Cánovas, A., García i, J., Aliaga, J., Alcón, J. J., Beseler, B., Andreu, E., Molini, N., & Navarro, I. (2002). *Contaminantes medio-ambientales en la alimentación*. 69–76.
- Pacheco, R. L., & Quiroga, M. (2018). Producción de acelga (*Beta vulgaris*) en sistema vertical a diferentes distancias en ambiente protegido. *Revista de Investigacion e Innovacion Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 5(2), 101–116.
- Patiño, Y., Díaz, E., & Ordoñez, S. (2014). Microcontaminantes emergentes en aguas: tipos y sistemas de tratamiento. *Avances En Ciencias e Ingeniería*, 5(2), 1–20.
- Peñalver, M. (2020). *Eliminación de los contaminantes emergentes ibuprofeno , diclofenaco y paracetamol mediante procesos de membrana. [Trabajo de fin de grado, Universidad Politécnica de Cartagena]*. Repositorio digital <http://hdl.handle.net/10317/9016>
- Peng, X., Yu, Y., Tang, C., Tan, J., Huang, Q., & Wang, Z. (2008). Occurrence of steroid estrogens , endocrine-disrupting phenols , and acid pharmaceutical residues in urban riverine water of the Pearl River Delta , South China. *Science Of The Total Environment*, 397((1-3)), 158–166. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.02.059>
- Pérez-Alvarez, I., Islas-Flores, H., Gómez-Oliván, L. M., Barceló, D., López De Alda, M., Pérez, S., Sánchez-Aceves, L., SanJuan-Reyes, N., & Galar-Martínez, M. (2018). Determination of metals and pharmaceutical compounds released in hospital wastewater from Toluca, Mexico, and evaluation of their toxic impact. *Environmental Pollution*, 240, 330–341. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.04.116>

- 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. [https://doi.org/10.1016/S0165-9936\(03\)01105-1](https://doi.org/10.1016/S0165-9936(03)01105-1)
- Quero-Pastor, M. J., Garrido-Perez, M. C., Acevedo, A., & Quiroga, J. M. (2014). Ozonation of ibuprofen: A degradation and toxicity study. *Science of the Total Environment*, 466–467, 957–964. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.07.067>
- Quiroga Alonso, M. J., Quero-Pastor, M. J., & Acevedo Merino, A. (2015). Tratamientos avanzados para la eliminación de fármacos en aguas superficiales. *Rev. Salud Ambient.*, 15 (Espec. Congr.), 18–21.
- Ramírez-Sánchez, I. M., Martínez-Austria, P., Quiroz-Alfaro, M. A., & Bandala, E. R. (2015). Effects of estrogens, as emerging pollutants, on health and the environment [Efectos de los estrógenos como contaminantes emergentes en la salud y el ambiente]. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 6(5), 31–42. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85030452054&partnerID=40&md5=b6f816884b88748f5a3b557bdd5e01c7>
- Reinoso, J. C., Serrano, C. Y., & Orellana, D. F. (2017). Contaminantes emergentes y su impacto en la salud. *Revista de La Facultad de Ciencias Médicas de La Universidad de Cuenca*, 35(2), 55–59.
- Ríos, R., & Estrada, L. O. (2018). Descripción y cuantificación de riesgos atribuidos a analgésicos antiinflamatorios no esteroides no selectivos consumidos por la población mexicana Description and quantification of risks attributed to non-selective non-steroidal. *Med Int Méx.*, 34(2), 173–187.
- Rivera, J., Sánchez, M., Ferro, M. A., Prados, G., & Ocampo, R. (2013). Chemosphere Pharmaceuticals as emerging contaminants and their removal from water . A review. *Chemosphere*, 93(7), 1268–1287. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.07.059>
- Robledo, V. H., Velázquez, M. A., Montañez, J. L., Pimentel, J. L., Vallejo, A. A., López, M. D., & Venegas, J. (2017). Hidroquímica y contaminantes emergentes en aguas residuales urbano industriales de Morelia, Michoacán, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 33(2), 221–235. <https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.02.04>
- Rocha-Gutiérrez, B. A., Peralta-Pérez, M. R., & Zavala, F. J. (2015). Revisión global de los contaminantes emergentes PBDE y el caso particular de México. *Rev. Int. Contam. Ambient [Revista En La Internet]*, 31(3), 311–320.
- Roig Bondia, J. (2013). Eliminación de contaminantes emergentes mediante humedales artificiales como sistema alternativo o complementario a un tratamiento de aguas convencional. [Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Valencia]. Repositorio digital <http://hdl.handle.net/10251/44470>
- Rosal, R., Rodríguez, A., Perdigón-Melón, J. A., Petre, A., García-Calvo, E., Gómez, M. J., Agüera, A., Agüera, A., Fernandez-Alba, A. R., & Fernández-Alba, A. R. (2010). Occurrence of emerging pollutants in urban wastewater and their removal through biological treatment followed by ozonation. *Water Research*, 44(2), 578–588.

<https://doi.org/10.1016/j.watres.2009.07.004>

- Siemens, J., Huschek, G., Siebe, C., & Kaupenjohann, M. (2008). Concentrations and mobility of human pharmaceuticals in the world ' s largest wastewater irrigation system , Mexico City – Mezquital Valley. *Water Research*, 42, 2124–2134. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.11.019>
- Tejada, C., Quiñonez, E., & Peña, M. (2014). Contaminantes emergentes en aguas: metabolitos de fármacos. Una revisión. *Universidad Militar Nueva Granada*, 10(1), 80–101.
- Uruse, T., & Kikuta, T. (2005). Separate estimation of adsorption and degradation of pharmaceutical substances and estrogens in the activated sludge process. *Water Research*, 39(7), 1289–1300. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.01.015>
- Vieno, N., Tuhkanen, T., & Kronberg, L. (2006). Removal of Pharmaceuticals in Drinking Water Treatment: Effect of Chemical Coagulation. *Environmental Technology*, 27(2), 183–192. <https://doi.org/10.1080/09593332708618632>
- WHO. (2011). *Pharmaceuticals in drinking-water*. Francia (p. 52). https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44630/9789241502085_eng.pdf;jsessionid=8CBD8D3D7FB94C4BA28D70828839E6B6?sequence=1
- Yoon, Y., Westerhoff, P., Snyder, S. A., & Wert, E. C. (2006). *Nanofiltration and ultrafiltration of endocrine disrupting compounds , pharmaceuticals and personal care products*. 270, 88–100. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2005.06.045>
- Zwiener, C., & Frimmel, F. H. (2000). Oxidative treatment of pharmaceuticals in water. *Water Research*, 34(6), 1881–1885. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(99\)00338-3](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(99)00338-3)

ANEXO 1

ARTÍCULO

<https://orcid.org/0000-0001-5105-1076>

<https://orcid.org/0000-0001-8938-7405>

<https://orcid.org/0000-0002-9762-5941>

<https://orcid.org/0000-0002-1297-3497>

<https://orcid.org/0000-0002-3111-6204>

<https://orcid.org/0000-0001-5014-1686>

<https://orcid.org/0000-0002-6118-5569>

<https://orcid.org/0000-0001-6125-4782>

CONTAMINANTES EMERGENTES: AMENAZA PARA LA SEGURIDAD ALIMENTARIA EN MÉXICO

EMERGING POLLUTANTS: THREAT TO FOOD SECURITY IN MEXICO

Mayra Canchola¹, Romero Hernández Miriam², Rueda Luna Rolando², Flores Sotelo María Teresa³, Zayas Pérez María Teresa⁴, Castañeda Roldan Elsa Iracena⁵, Herrera Cárdenas Jorge Antonio⁶, Tenorio Arvide María Guadalupe^{2*}

1. Estudiante de Maestría en Ciencias Ambientales, ICUAP, BUAP.

2. Departamento de Investigación en Ciencias Agrícolas (DICA), ICUAP. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, 72000, Puebla. tenorio.arvide@correo.buap.mx

3. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Posgrado en Ciencias Ambientales Calle 4 Sur No. 104, Col. Centro, Puebla, Puebla, México, C.P. 72000;

4. Centro de Química, BUAP.

5. Centro de Investigación en Ciencias Microbiológicas, BUAP.

6. Instituto de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica.

maria.tenorioarvide@viep.com.mx

Resumen

En la actualidad el cambio climático, la urbanización y la globalización son los principales factores que afectan la calidad del agua, vehículo primordial para la traslocación y permanencia de los contaminantes emergentes, resultan en un peligro para la salud del humano y el medio ambiente. En los últimos años la presencia de estos compuestos ha ido en aumento, reportándose en diferentes compartimentos del ecosistema reconociéndolos en suelos agrícolas y permeándose hasta aguas subterráneas, de esta manera no es una novedad que alimentos cultivados para consumo humano puedan adsorber y acumular contaminantes emergentes comprometiendo la seguridad alimentaria. El objetivo de este artículo es documentar la problemática que está asociada a estos compuestos a partir de estudios publicados previamente.

Palabras clave: *Contaminantes emergentes; Bioacumulación; Seguridad alimentaria; Problemas de salud.*

Abstract

Nowadays, the main factors as climate change, urbanization, and globalization are related to water quality, which is the first vehicle to translocation and permanency of emerging pollutants; its chemical characteristics result in a risk for human and environmental health. In the last few years, the emergence of these compounds has increased; many studies have reported them in different ecosystem compartments, as soil and rivers; thus, food grown for human consumption can adsorb and accumulate emerging pollutants to biomagnify the problem in food chains. The objective of this article is to document the problems associated with these compounds from previously published studies.

Keywords: Emerging pollutants; Bioaccumulation; Food security, Health issues

INTRODUCCIÓN

Los contaminantes emergentes (CE) son componentes químicos que constituyen una larga y variada lista que incluye estrógenos, esteroides, compuestos organoclorados, fármacos, cafeína, productos de cuidado personal (PCP), entre otros; derivados principalmente de actividades antropogénicas cotidianas tales como, el cuidado de la higiene personal o la limpieza del hogar, son considerados un problema ambiental, de salud pública pero también de seguridad alimentaria (Castro-Pastrana et al., 2021).

Las causas de la continua detección de CE, principalmente en agua, se le atribuyen al frecuente consumo de productos de cuidado personal y fármacos, sin embargo, las industrias farmacéuticas, la descarga de aguas de los hospitales y hogares, el uso irresponsable de medicamentos y su mala disposición, también contribuyen a la ocurrencia de estos compuestos en suelos, ríos y aguas subterráneas, incluso en agua potable; la capacidad de persistencia de estos contaminantes les permite trasladarse a diferentes estratos del ecosistema llegando al consumidor a través de hortalizas contaminadas (Singh et al., 2020).

Tabla 1. Tipos de contaminantes emergentes (Castro-Pastrana et al., 2021)

CONTAMINANTE	USO
Estrógenos	Pastillas anticonceptivas y tratamientos para la menopausia.
Compuestos organoclorados	Uso generalizado en pesticidas e insecticidas.
Fármacos- analgésicos	Medicamentos sin prescripción médica de uso generalizado para el alivio del dolor como el ibuprofeno.
Cafeína	Bebidas energizantes, gasificadas o como infusión, medicamentos.
metil dihidrojasmonato	Compuesto usado como base para una gran variedad de perfumes y productos de cuidado personal.

Los microcontaminantes orgánicos o contaminantes emergentes son catalogados de diferentes maneras entre las cuales se encuentran los productos de cuidado personal y farmacéuticos, englobándose medicamentos de uso veterinario y humano, cremas faciales, maquillaje, fragancias, cosméticos, desodorantes, pasta de dientes, bloqueador solar incluso drogas de uso recreativo (Boxall et al., 2012), su composición química y las propiedades que los caracteriza son tan amplias que por esa razón es todo un reto establecer políticas públicas para su control por lo tanto son sustancias que no son monitoreadas (Castro-Pastrana et al., 2021).

Fármacos y productos de cuidado personal se han detectado en una gran variedad de entornos hidrológicos y tipos de suelo en todo el mundo (Reinoso Carrasco Julieta del Carmen et al., 2017), aunque las concentraciones reportadas son bajas (microgramos/L) (Tejada et al., 2014), algunos pueden persistir en el medio ambiente durante meses o años incorporándose en la cadena trófica, donde se biomagnifican principalmente en depredadores, por otro lado, la exposición constante a estos contaminantes también tienen repercusiones en la salud humana (Boxall et al., 2012).

La seguridad alimentaria está relacionada con la contaminación emergente, se sabe que las hortalizas al ser regadas con aguas residuales pueden estar en contacto con contaminantes emergentes, cuando se consumen alimentos saludables para la adquisición de nutrientes necesarios para un desarrollo adecuado existe el riesgo de estar consumiendo a la par, fármacos o PCP en diminutas dosis de manera regular.

Los CE son una problemática evidentemente ambiental y social, que puede entenderse a través de diferentes perspectivas. En este artículo se encontrarán respuestas a preguntas como: ¿cuáles son las vías que siguen los contaminantes emergentes en el medio ambiente? ¿De qué manera afecta la presencia de contaminantes emergentes a la seguridad alimentaria? ¿Cómo se encuentra relacionada la seguridad alimentaria y el rol de las jefas de hogar? ¿Los contaminantes emergentes son una problemática social? Las respuestas ofrecerán un panorama del tema en la actualidad, entendiendo el problema de manera holística.

Vías de exposición ambiental de los contaminantes emergentes

El ser humano se encuentra sujeto a la disponibilidad y calidad de los recursos en el medio ambiente que se desarrolla, las interacciones que se establecen entre organismos vivos y su entorno los expone a los cambios que puedan surgir en este, lo que incluye la contaminación de cualquier tipo.

Los contaminantes emergentes ingresan al medio ambiente por diferentes vías (Figura 1), los enfoques normativos regulatorios para otros países consideran la-s aguas residuales liberadas de los sistemas de tratamiento, como uno de los principales medios de movilidad, aunque también se enumeran la acuicultura y el uso de biosólidos como fertilizantes (Boxall et al., 2012), llegando a los suelos incorporándose a la cadena trófica a través de los alimentos que se consumen de manera cotidiana como el consumo de hortalizas, leche y carne que han estado en contacto con contaminación emergente, poniendo en peligro a los más susceptibles, como embarazadas y niños (Vera et al., 2002).

Los alimentos contaminados en la mayoría de los casos, no cambian ninguna de sus características organolépticas, por lo que no pueden reconocerse a simple vista y pasan inadvertidos; lo que implica un riesgo potencial de ingesta de compuestos tóxicos en la dieta diaria (Vera et al., 2002)

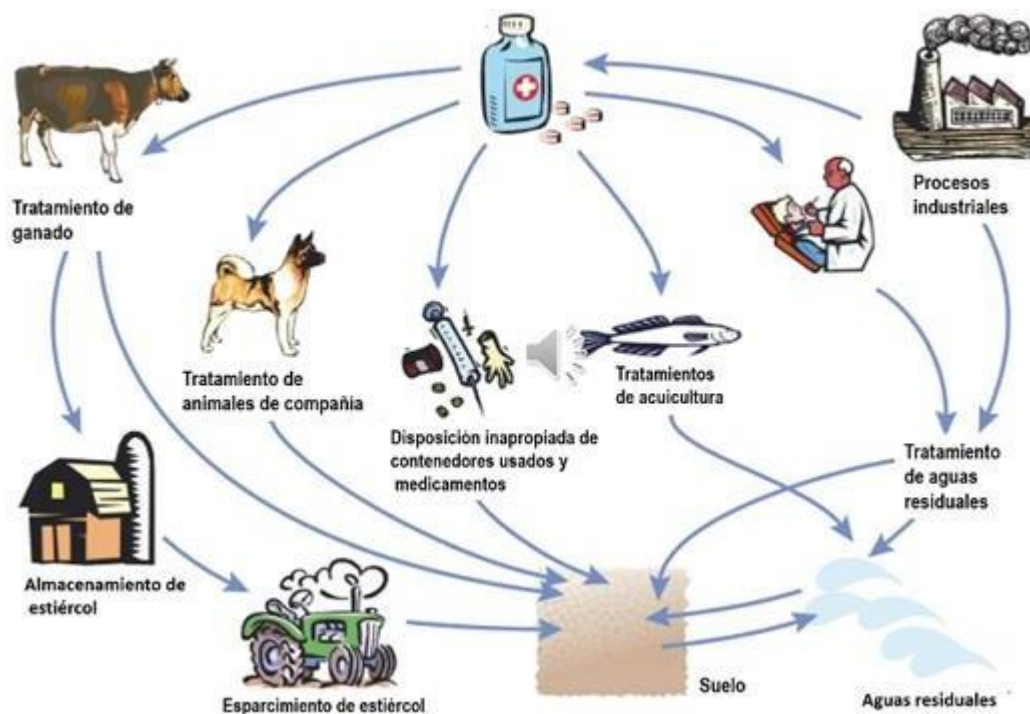


Figura 1. Vías de exposición ambiental de contaminantes emergentes modificado de (Boxall et al., 2012).

Es necesario considerar los mecanismos de liberación y las vías de exposición para los CE de un lugar en específico tomando en cuenta su ocurrencia y permanencia en el medio ambiente, para dar un tratamiento óptimo, por lo que técnicas de eliminación en otros países no siempre serán relevantes o aplicables para México (Boxall et al., 2012).

En lo que se refiere a productos de cuidado personal y fármacos en México aún no hay legislación que regule estos contaminantes, y tampoco un listado donde se priorice las sustancias de urgente monitoreo (Ramírez-Sánchez et al., 2015), sin embargo, Muñoz (2012) propone una lista con 49 contaminantes de importancia potencial en México donde se incluyen hormonas y esteroides como el estradiol, fármacos como ibuprofeno y dexametasona, menciona también algunos antibióticos, y productos de cuidado personal, así como sustancias generadas a partir de procesos industriales como el Bisfenol A.

En Puebla las regulaciones para estas sustancias emergentes también son escasas, en legislaciones en materia de descargas de aguas residuales al sistema de alcantarillado, el código reglamentario para el municipio de Puebla (COREMUN) establece parámetros

y límites permisibles con respecto a calidad del agua, sin embargo, no se encuentran incluidos fármacos ni productos de cuidado personal.

Seguridad alimentaria y su relación con los contaminantes emergentes

La seguridad alimentaria es un tema extenso en el que están implicados múltiples factores lo que lo hace un problema complejo de abordar; asegurar alimentos inocuos libres de sustancias tóxicas es parte de lo que busca la seguridad alimentaria que además de garantizar alimentos para todos, estos deberían ser de calidad.

La calidad del agua y suelo comprometen la seguridad alimentaria al ser recursos que aseguran los cultivos para abastecer a la población de alimentos, la escasez de agua ha ocasionado el uso de aguas residuales tratadas para riego de cultivos, puesto que los tratamientos de remoción de contaminantes no son del todo confiables en su eliminación, verduras y hortalizas están expuestas a estos CE y pueden absorberlos y bioacumularlos, del mismo modo, que la transmisión de enfermedades asociadas a parásitos intestinales y microorganismos fecales (Vera et al., 2002).

Las propiedades físico-químicas (alta solubilidad en agua y poco biodegradables) les permite llegar a cualquier entorno natural, determinando la permanencia y ocurrencia en el medio ambiente, de manera que puede representar un grave riesgo para el consumo de agua potable (García-Gómez, C.; Gortáres-Moroyoqui, P.; Drogui, 2011). La persistencia de estos agentes contaminantes les confiere la capacidad de permanecer incluso por décadas en el medio, interactuando con otros compuestos (Petrovic et al., 2002), en otras palabras podríamos estar en contacto con metabolitos de pesticidas usados hace 50 años, tal es el caso del DDT (Dicloro-difenil-tricloroetano), su uso actualmente está prohibido, sin embargo, su presencia se ha reportado en aguas superficiales, teniendo un efecto como disruptor endocrino (Tejada et al., 2014).

Los CE son un problema ambiental que necesita de urgente regulación, se ha visto que además de ser la causa del impacto directo e indirecto para agroecosistemas también lo es para la salud humana (Pérez et al., 2013), por lo que representan un riesgo al tratarse de seguridad alimentaria, principalmente enfocada en el abastecimiento de alimentos a la población, lucha contra el hambre y la desnutrición, pero la calidad de los alimentos

de consumo humano también es un factor importante para preservar la salud (CONEVAL, 2010).

Traslocación y bioacumulación en plantas

En el ciclo de incorporación de contaminantes emergentes en diferentes compartimentos del ecosistema (agua y suelo), las plantas juegan un papel fundamental, en el que tienen la capacidad de absorber y bioacumular agentes contaminantes en sus tejidos como hojas y raíces, teniendo un efecto negativo en la morfología y fisiología; esta habilidad tiene ciertas ventajas ya que existen claros ejemplos donde sirven como biorremediadores, sin embargo, cuando se trata de plantas cultivadas para consumo humano, es un potencial peligro en consumidores herbívoros y / o humanos (Hyland et al., 2015; Singh et al., 2020; Villanueva Moscoso, 2019).

En el caso de las plantas que son productores primarios en la cadena alimentaria, presentan mecanismos específicos para adsorber, translocar y acumular ciertos nutrientes esenciales a través del medio para su desarrollo; sin embargo, cualquier alteración en el ambiente, como contaminantes disponibles en los suelos son absorbidos por las plantas debido a que poseen propiedades químicas similares a los elementos nutritivos esenciales (Pullagurala et al., 2018).

Los procesos químicos involucrados dependen en gran medida de las propiedades físico químicas del contaminante, y del medio donde se desarrollan, de este modo, la adsorción de agentes contaminantes también va a estar determinada por estos factores, p/e antibióticos y otros productos farmacéuticos tienen una gran afinidad por la absorción de las plantas, la mayoría de los antibióticos tienden a ser absorbidos por el transporte apoplástico y acumularse en los espacios intracelulares, teniendo un impacto negativo en el crecimiento y desarrollo de las plantas (Figura 2) (Pullagurala et al., 2018). El sistema de transporte de la planta es el xilema y floema, son canales que facilitan el movimiento de nutrientes, agua y sales minerales obtenidos del suelo por medio del sistema radicular, son por estos conductos donde se translocan los contaminantes emergentes y tienden a acumularse en frutas u hojas.

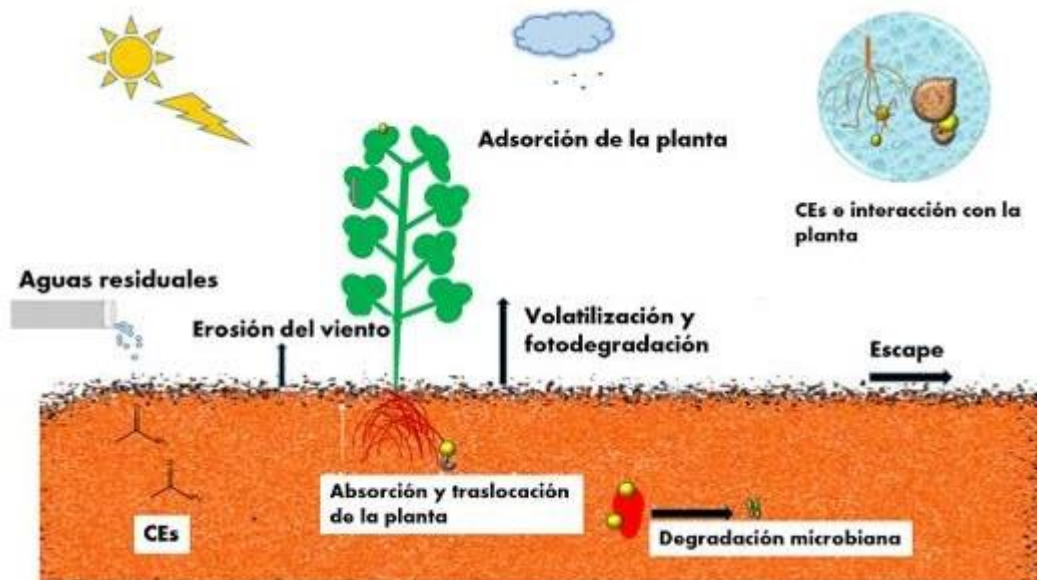


Figura 2. Ciclo de los CE. Imagen adaptada de (Pullagurula et al., 2018)

Contaminantes emergentes: una problemática social

Pequeñas acciones como utilizar un perfume en las mañanas, tomar un analgésico para calmar el dolor de cabeza o muscular, uso de anticonceptivos, lavar la ropa con suavizante incluido, son actividades tan habituales que se olvida el impacto que esto significaría en el medio ambiente a corto o largo plazo; los contaminantes emergentes o sus subproductos conocidos como metabolitos llegan al desagüe a través del drenaje; por lo que diariamente se desechan pequeñas cantidades por medio de nuestra orina o heces, por la ducha, etc.; sin embargo, ¿has pensado cuantas personas en tu entorno hacen uso de productos de cuidado personal o farmacéuticos?

Es ampliamente reconocido que la creación de los fármacos y productos de cuidado personal ha contribuido a aliviar el dolor, controlar y curar muchas enfermedades al igual que mejorar nuestra calidad de vida, sin embargo, es alarmante la cantidad de fármacos o productos de cuidado personal que se usan; tan solo en la Unión Europea se cifra en toneladas por año, y muchos de los más usados, entre ellos los antibióticos, se emplean en cantidades similares a las de los pesticidas (Tejada et al., 2014). Se sabe que las

ventas mundiales de medicamentos alcanzaron los \$800,000 millones de dólares en el 2008, lo que nos da una idea de la cantidad de fármacos usados y de su potencial presencia en el medio ambiente (Moreno-ortiz et al., 2013).

En México, el ibuprofeno, el naproxeno y el paracetamol, entre muchos otros fármacos de diversos grupos terapéuticos se han detectado en aguas superficiales y subterráneas en varias regiones de la zona central de México, además son de los más consumidos, tanto en el ámbito hospitalario como en el ambulatorio (Castro-Pastrana et al., 2021).

Se sabe que la presencia de analgésicos ampliamente prescritos como el ibuprofeno, diclofenaco, antibióticos, antidepresivos etc.; está dada por factores como la demanda, la frecuencia de administración, automedicación, consumo ilícito de drogas y los procesos fisiológicos que determinan la carga y la persistencia de principios activos en aguas (Cartagena, 2011). Por tal razón es importante ser conscientes acerca del consumo de estos productos que aparentemente son inofensivos, y mejoran la calidad de vida, sin embargo, hace falta contribuir al cuidado del medio ambiente y de la salud, tomando acciones de manera local.

Es una ironía que actualmente los productos que facilitan un sin fin de actividades en la vida cotidiana como lo son cuidar del aseo personal o labores de limpieza doméstica, sean también los que contribuyen a afectar la salud a largo plazo; la ingesta de estas sustancias en pequeñas cantidades, pero de forma constante es perjudicial para la salud humana y del medio ambiente, ya que son causantes de toxicidad crónica, disrupción endocrina, bioacumulación así como resistencia bacteriana (Yolanda et al., 2014).

La sociedad en general puede asumir que no hay necesidad de preocuparse por los efectos adversos de los CE ya que sus concentraciones son muy bajas, pero su toxicidad es crónica y a menudo se conduce de generación en generación (Taheran et al., 2018), no obstante, la inexistencia de marco regulatorio en México pone limitantes para determinar la incidencia y comportamiento de estos contaminantes en la red trófica.

El rol de las jefas de casa en la seguridad alimentaria

Desde tiempos ancestrales las mujeres desempeñan un papel sumamente importante en el desarrollo de las actividades del hogar, principalmente de la alimentación de su familia, siendo las encargadas de la compra y preparación de los alimentos; por esta razón indirectamente se les delega la seguridad alimentaria, sin embargo, se puede entender como jefas de casa no solo a las mujeres líderes de familia, sino también se puede incluir a todas aquellas personas que se encargan del hogar incluyendo la administración y adquisición de alimentos (Alderete et al., 2018).

El derecho de todas las personas en particular los pobres y las personas en situaciones de vulnerabilidad al acceso de una dieta suficiente, balanceada, y nutritiva se reconoce como seguridad alimentaria (Mundo-Rosas et al., 2018) donde se puede diferenciar tres niveles: acceso, disponibilidad y consumo, aunque los ingresos económicos de cada hogar es una factor importante, las prácticas y comportamientos de cada familia, refiriéndonos a la selección, adquisición y preparación de los alimentos contribuyen a los patrones de dieta personales (Alderete et al., 2018).

La seguridad alimentaria es un problema de salud pública, una ingesta nutricional insuficiente pero también una sobre nutrición pueden provocar obesidad entre otras enfermedades; la desigualdad alimentaria de hogares pobres tiende afectar a los niños, provocándoles enfermedades crónicas en su adultez, de modo que los efectos de la inseguridad alimentaria son graves (Alderete et al., 2018). Las consecuencias de una ingesta inadecuada de alimentos se vuelven aparentes a través de manifestaciones indirectas y tardías que pueden ser irreversibles.

Hogares con menores ingresos, encabezados por madres solteras, con un mayor número de hijos o integrantes en la familia, con niveles de educación más bajos, e incluso minorías raciales, tienen una mayor probabilidad de experimentar inseguridad alimentaria, por lo que para algunos autores estos factores pueden ser tomados como medidores de seguridad alimentaria (Franklin et al., 2012); La pobreza en México determina la seguridad alimentaria de muchos hogares, se calcula que 52.4 millones de personas se encuentran en situación de pobreza (CONEVAL, 2018) en Latinoamérica un gran porcentaje sufre de inseguridad alimentaria, sobrepasando el 50% en muestras

tomadas en países como México, Ecuador, Brasil, Nicaragua, y Perú, donde se experimentó hambre en alguno de los integrantes de la familia principalmente niños (Alderete et al., 2018).

Para entender las causas de la inseguridad alimentaria hace falta más que estudiar la falta de acceso a una amplia variedad de alimentos, sino que también resulta en una problemática cultural que atraviesa generaciones que afecta el comportamiento y habilidad para liderar el hogar; precarias condiciones económicas, desempleo o trabajos informales caracterizan su condición ocupacional, predominando en hogares con inseguridad alimentaria.

En un estudio realizado en 2018 en Argentina, se midió la inseguridad alimentaria de forma multidimensional, las madres y abuelas desempeñan un papel fundamental para la alimentación de los integrantes de su familia, por lo que se han desarrollado estrategias en las que son protagonistas. En muchos hogares aun en donde se han emancipado de sus madres, las abuelas continúan haciéndose cargo de la compra y elaboración de alimentos (Alderete et al., 2018).

En lo que concierne a México se documentó en 2012 que un 70% de la población se ubicó en alguna categoría de inseguridad alimentaria donde las zonas rurales son las más afectadas en un 80.8%, hay que resaltar que desde el año 2008, el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (Coneval) es el encargado de realizar la medición multidimensional de la pobreza. Esta medición se lleva a cabo cada dos años y se incluye el indicador de la carencia por acceso a la alimentación o inseguridad alimentaria en los hogares (Mundo-Rosas et al., 2018).

Conclusiones

De manera primordial es necesario establecer políticas públicas en las que se engloben los fármacos y productos de cuidado personal como contaminantes, debido a la poca información referente a su comportamiento en el medio y sus posibles tratamientos hace que su regulación sea más difícil.

En el país e incluso a nivel estado no hay una normatividad específica para CE en cuanto a criterios de calidad del recurso hídrico o para el reúso de aguas residuales tratadas

que son utilizadas en actividades agrícolas, lo que puede llegar a convertirse a largo plazo en un riesgo para la salud humana; por otra parte, es necesario desarrollar técnicas más eficientes para su detección ya que sus concentraciones son mínimas y esto podría dificultar su monitoreo en el ambiente.

El consumo de fármacos y productos de cuidado personal debería ser informado y consciente por parte de la población.

Es recomendable la generación de evidencia científica para reconocer los riesgos de la exposición humana a estos contaminantes y poder tomar medidas precautorias al respecto

Referencias

Alderete, E., Sonderegger, L., & Pérez-Stable, E. J. (2018). Emerging themes in food security: Environmental justice, extended families and the multiple roles of grandmothers. *International Journal for Equity in Health*, 17(1). <https://doi.org/10.1186/s12939-018-0856-3>

Boxall, A. B. A., Rudd, M. A., Brooks, B. W., Caldwell, D. J., Choi, K., Hickmann, S., Innes, E., Ostapyk, K., Staveley, J. P., Verslycke, T., Ankley, G. T., Beazley, K. F., Belanger, S. E., Berninger, J. P., Carriquiriborde, P., Coors, A., DeLeo, P. C., Dyer, S. D., Ericson, J. F., ... Van Der Kraak, G. (2012). Pharmaceuticals and personal care products in the environment: What are the big questions? En *Environmental Health Perspectives* (Vol. 120, Número 9, pp. 1221–1229). Public Health Services, US Dept of Health and Human Services. <https://doi.org/10.1289/ehp.1104477>

Cartagena, C. J. (2011). Emerging organic pollutants in environment: Pharmaceutical products. *Revista Lasallista de Investigación*, 8(2), 143–153.

Castro-Pastrana, L. I., Cerro-López, M., Toledo-Wall, M. L., Gómez-Oliván, L. M., & Saldívar-Santiago, M. (2021). Analysis of pharmaceuticals in wastewater of three hospitals in the city of Puebla, Mexico. *Ingeniería del agua*, 25(1), 59–74. <https://doi.org/https://doi.org/10.4995/la.2021.13660>

CONEVAL. (2010). Dimensiones de la seguridad alimentaria. En *Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social* (Vol. 2, Número 1).

Franklin, B., Jones, A., Love, D., & White-means, S. (2012). Exploring Mediators of Food Insecurity and Obesity: A Review of Recent Literature. *J Community Health*, 37, 253–264. <https://doi.org/10.1007/s10900-011-9420-4>

García-Gómez, C.; Gortáres-Moroyoqui, P.; Drogui, P. (2011). Contaminantes emergentes: efectos y tratamientos de remoción Emerging contaminants: effects and removal treatments. *Química viva*, vol. 10(núm. 2), 96–105.

Hyland, K. C., Blaine, A. C., Dickenson, E. R. V., & Higgins, C. P. (2015). Accumulation of contaminants of emerging concern in food crops-part 1: Edible strawberries and lettuce grown in reclaimed water. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 34(10), 2213–2221. <https://doi.org/10.1002/etc.3066>

Moreno-ortiz, V. C., Martínez-núñez, J. M., Kravzov-jinich, J., Alberto, L., Moreno-bonett, C., & Altagracia-martínez, M. (2013). su impacto en el medio ambiente Rx synthetic medicines and their environmental impact. *Revista mexicana de ciencias farmacéuticas*, 44(4), 17–29.

- Mundo-Rosas, V., Vizuet-Vega, N. I., Martínez-Domínguez, J., Morales-Ruán, M. del C., Pérez-Escamilla, R., & Shamah-Levy, T. (2018). Evolución de la inseguridad alimentaria en los hogares mexicanos: 2012-2016. *Salud Pública de México*, 60(3, may-jun), 309. <https://doi.org/10.21149/8809>
- Pérez, M. A., Navarro, H., & Miranda, E. (2013). RESIDUOS DE PLAGUICIDAS EN HORTALIZAS: PROBLEMÁTICA Y RIESGO EN MÉXICO. *Rev. Int. Contam. Ambie.*, 29, 45–64.
- Petrovic, M., Solé, M., López De Alda, M. J., & Barceló, D. (2002). ENDOCRINE DISRUPTORS IN SEWAGE TREATMENT PLANTS , RECEIVING RIVER WATERS , AND SEDIMENTS: INTEGRATION OF CHEMICAL ANALYSIS AND BIOLOGICAL EFFECTS ON FERAL CARP. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 21(10), 2146–2156. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/etc.5620211018>
- Pullagurala, V. L. R., Rawat, S., Adisa, I. O., Jose A. Hernandez-Viezcas, J. R. P.-V., & Garde, J. L. (2018). Plant uptake and translocation of contaminants of emerging concern in soil. *Science of the Total Environment*, 636(1585–1596). <https://doi.org/doi:10.1016/j.scitotenv.2018.04.375>
- Ramírez-Sánchez, I. M., Martínez-Austria, P., Quiroz-Alfaro, M. A., & Bandala, E. R. (2015). Effects of estrogens, as emerging pollutants, on health and the environment [Efectos de los estrógenos como contaminantes emergentes en la salud y el ambiente]. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 6(5), 31–42. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85030452054&partnerID=40&md5=b6f816884b88748f5a3b557bdd5e01c7>
- Reinoso Carrasco Julieta del Carmen, Serrano Delgado Clara Yamilet, & Orellana Cobos Danilo Fernando. (2017). Contaminantes emergentes y su impacto en la salud. *Revista de la Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad de Cuenca*, 35(2), 55–59.
- Singh, B. N., Hidangmayum, A., Singh, A., Guru, A., Yashu, B. R., & Singh, G. S. (2020). *Effect of Emerging Contaminants on Crops and Mechanism of Toxicity* (pp. 217–241). https://doi.org/10.1007/978-3-030-33281-5_6
- Taheran, M., Naghdi, M., Brar, S. K., Verma, M., & Surampalli, R. Y. (2018). SC. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2018.05.010>
- Tejada, C., Quiñonez, E., & Peña, M. (2014). CONTAMINANTES EMERGENTES EN AGUAS: METABOLITOS DE FÁRMACOS. UNA REVISIÓN. *UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA*, 10(1), 80–101.
- Vera, J. A., Saez, J. J. A., Soto, B. B., Alapont, E. A., Menchón, N. M., & Navarro, I. (2002). *Contaminantes medio-ambientales en la alimentación*. 69–76.
- Villanueva Moscoso, L. J. (2019). *EFFECTS ON VEGETABLES BY ACTION OF EMERGING CONTAMINANTS*.
- Yolanda, P., Eva, D., & Salvador, O. (2014). MICROCONTAMINANTES EMERGENTES EN AGUAS: TIPOS Y SISTEMAS DE TRATAMIENTO. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 5(2), 1–20.