

## Remoción de ibuprofeno y amoxicilina en agua residual doméstica mediante jabones con carbón activado y polvo de semillas de moringa a nivel laboratorio

Removal of ibuprofen and amoxicillin in domestic wastewater using activated carbon soaps and moringa seed powder at the laboratory level

José L. Paredes<sup>1</sup> ; Guillermo D. Evangelista<sup>2</sup> ;  
José L. Paredes<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Recursos Naturales Renovables, Universidad Nacional Agraria de la Selva, Carretera Central-Km 1.21 – Ciudad Universitaria, Tingo María, Perú.

<sup>2</sup> Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional de Trujillo, Av. Juan Pablo II s/n – Ciudad Universitaria, Trujillo, Perú. [gevangelista@unitru.edu.pe](mailto:gevangelista@unitru.edu.pe)

\* Autor correspondiente: [jose.paredes@unas.edu.pe](mailto:jose.paredes@unas.edu.pe) (J. Paredes)

DOI: [10.17268/rev.cyt.2024.01.05](https://doi.org/10.17268/rev.cyt.2024.01.05)

### RESUMEN

Esta investigación, se realizó para conocer el efecto del uso de jabones con carbón activado y polvo de semillas de moringa, sobre la concentración de ibuprofeno y amoxicilina presentes en un agua residual doméstica. Los jabones fueron preparados con glicerina comercial transparente adicionando los adsorbentes a razón de 0,1 g/g de jabón. El agua residual fue preparada en el laboratorio y caracterizada, luego se adicionaron ibuprofeno y amoxicilina a la concentración de 3 mg/L cada uno. En los experimentos se adicionaron los jabones en forma individual y combinada a 1 litro del agua residual, en tres porcentajes en peso: 5%, 15% y 25%. La aplicación combinada del jabón con carbón activado y polvo de semillas de moringa al 25%, fue el mejor tratamiento con remoción del 81,33% y 80% de ibuprofeno y amoxicilina respectivamente. Este tratamiento se aplicó en agua residual doméstica real procedente de la desembocadura de aguas residuales al río Huallaga en Tingo María-Huánuco-Perú, que fue caracterizada y se removió 72,3% y 69,7% de ibuprofeno y amoxicilina respectivamente. Mediante una prueba de Tukey, se comprobó que existe diferencia significativa con un intervalo de confianza del 95%, entre los tratamientos aplicados en un agua residual real y una artificial.

**Palabras clave:** Carbón activado; Semillas de Moringa; Ibuprofeno; Amoxicilina; Agua residual doméstica.

### ABSTRACT

This research was done to determine the effect of using soaps with activated carbon and moringa seed powder on the concentration of ibuprofen and amoxicillin in domestic wastewater. The soaps were prepared with transparent commercial glycerin, adding the adsorbents at a rate of 0.1 g/g of soap. The residual water was prepared in the laboratory and characterized, then ibuprofen and amoxicillin were added at a concentration of 3 mg/L each. In the experiments, the soaps were added individually and combined to 1 liter of residual water, in three weight percentages: 5%, 15% and 25%. The combined application of soap with activated charcoal and 25% moringa seed powder was the best treatment with removal of 81.33% and 80% of ibuprofen and amoxicillin, respectively. This treatment was applied to actual domestic wastewater from the wastewater outlet to the Huallaga River in Tingo María-Huánuco-Perú, which was characterized and 72.3% and 69.7% of ibuprofen and amoxicillin were removed, respectively. Through a Tukey test, it was verified that there is a significant difference with a confidence interval of 95%, between the treatments applied in a real residual water and an artificial one.

**Keywords:** Activated carbon; Moringa seeds; Ibuprofen; Amoxicillin; Domestic wastewater.

### 1. INTRODUCCIÓN

El incremento de consumo de medicamentos del ser humano en la actualidad ha establecido nuevos contaminantes en las aguas residuales que requieren implementación de nuevas tecnologías o la mejora de las



ya existentes en las plantas de tratamiento. La baja eficiencia de los tratamientos convencionales de las plantas de tratamiento de aguas residuales para contaminantes de esta naturaleza, dan lugar a esta investigación que se enfoca en conocer los efectos de materiales adsorbentes incorporados en jabones, sobre la concentración de fármacos en un medio acuoso, enfocándose en el ibuprofeno y la amoxicilina, dado que la presencia de estos productos en el ambiente acuático o en las aguas residuales, podría interrumpir el ciclo de autodepuración del agua o reducir la eficiencia de los tratamientos convencionales aplicados en aguas residuales. Sin embargo, existen materiales adsorbentes como el carbón activado y las semillas de moringa que, incorporados en un producto de uso diario como el jabón, podrían ejercer su efecto de adsorción sobre estos fármacos.

Las investigaciones científicas para legislación, reducción y control de contaminantes emergentes en el medio acuático se desarrollan permanentemente para aportar tecnologías eficientes que solucionen el déficit de depuración de aguas residuales para estas sustancias. Gran parte son desarrolladas a nivel de laboratorio y piloto, con los que se obtienen resultados de alta eficiencia, por las condiciones experimentales que, enfocan en disminuir la variabilidad de elementos de la investigación y, aunque es cierto, los resultados son una aproximación de su aplicación a escala real, difieren por la aparición de componentes no considerados o la formación de subproductos inesperados. Un agua residual es el medio perfecto para contener contaminantes físicos, químicos y biológicos, por el uso que tuvo, a su condición de solvente universal y a factores ambientales, pueden producirse reacciones que influyen en su estabilidad. La eficiencia de una nueva tecnología a escala real debe evaluarse para conocer las desventajas que presenta en condiciones que no se preveían durante la investigación. Los contaminantes emergentes, son sustancias muy reactivas cuyo comportamiento está muy relacionado a cambios, fisicoquímicos y bioquímicos, del medio que los contiene.

La ONU (2018), después de una investigación informó que la remoción de productos farmacéuticos de las aguas residuales con tratamientos convencionales, tienen una baja eficiencia, ya que sólo 9 de las 118 sustancias farmacéuticas que se vierten en el medio ambiente y que son de preocupación mundial, se eliminaron del agua residual con una eficiencia mayor de 95%, y aproximadamente la mitad de los compuestos evaluados se eliminaron con una eficiencia menor al 50%. Iannacone y Alvareño (2009), reportaron que, entre los siete productos farmacéuticos más usados en el Perú, se encuentra la amoxicilina como antimicrobiano, el ibuprofeno como analgésico y el diazepam como sedativo, de los cuales este último es el que ocasiona mayor riesgo en el ambiente acuático.

Los residuos farmacéuticos han sido detectados en casi todos los sistemas ambientales de los continentes durante los últimos 30 años (Patel et al., 2019). Estos productos farmacéuticos se han hallado en aguas subterráneas, aguas residuales urbanas, aguas superficiales e incluso en agua potable en pequeñas concentraciones expresadas en ng a  $\mu\text{g}$  por litro (Wang et al., 2020). La dificultad que presentan estos productos farmacéuticos para ser eliminados mediante tratamientos con técnicas convencionales radica en su escasa biodegradabilidad y a la vez a su elevada hidrofilia (Szabo et al., 2011).

Diversos estudios han demostrado que las plantas de tratamiento de aguas residuales no poseen la capacidad de eliminar los compuestos farmacéuticos, llegando a reportar bajos porcentajes de remoción de estos contaminantes (Petrovic et al., 2009). La cantidad de medicamentos que han sido encontrados en ambientes acuáticos son más de 100 (Wang et al., 2019). que se presentan en épocas de frío o el exceso de consumo de productos a baja temperatura en época de calor. El consumo de medicamentos y la deficiente remoción de los productos farmacéuticos y sus metabolitos alcanzan tanto ambientes acuáticos como ambientes terrestres (Mirzaei et al., 2018). Debido al vacío que genera la depuración de este tipo de contaminantes, se requiere la aplicación de un tratamiento terciario. La pandemia de COVID-19, incrementó el uso de medicamentos y por ende la producción de desechos médicos, elevándose en un promedio de 102,2 % tanto en hospitales públicos como privados (Kalantary et al., 2021).

En aguas superficiales y aguas residuales, se han encontrado más de 160 compuestos farmacéuticos que fácilmente interaccionan con los microplásticos por su naturaleza hidrofóbica o hidrofílica, así, estos microplásticos se comportan como un vector de productos farmacéuticos en ambientes acuosos mediante interacciones  $\pi$ - $\pi$ . Actualmente, la eliminación de los productos farmacéuticos está en función a la tecnología aplicada y al tipo de medicamento, en un rango de precisión de 80% a 100% (Atugoda et al., 2021).

Un tratamiento convencional de aguas residuales se conforma de la aplicación de procesos físicos, químicos y procesos biológicos, lo cual permite eliminar sólidos, materia orgánica y nutrientes, dando lugar a la clasificación en tratamiento primarios, secundarios, terciarios y avanzados, aplicables según la complejidad del contaminante. La eliminación de patógenos suele ser en muchos países el último tratamiento aplicado (Mansouri et al., 2021).

Patiño et al. (2014) manifiestan que el diseño de las plantas de tratamiento de aguas residuales no contempla procesos para eliminación de contaminantes emergentes; algunas investigaciones resaltan que capacidad potencial del carbón activado para eliminar contaminantes emergentes, sin embargo, es preciso mencionar que, es limitada debido a la presencia de gruesos de materia orgánica, con la cual desarrollan una competencia en la ocupación de los centros activos. Por otro lado, Macias et al. (2019), investigaron la cinética de adsorción del paracetamol de aguas residuales de hospital, con filtros de carbón activado.

La adsorción con el uso de adsorbentes sólidos ha mostrado enorme potencial y altas eficiencias para el tratamiento de aguas y aguas residuales que contienen una amplia gama de productos farmacéuticos (Patel et al., 2019). El carbono es uno de los materiales más utilizados en la remoción de productos farmacéuticos presentes en aguas residuales, por su eficiencia y bajo costo. Los adsorbentes pueden ser naturales o sintéticos. Entre los adsorbentes naturales se puede mencionar carbón vegetal, arcillas, minerales arcillosos, zeolitas y menas. Los adsorbentes sintéticos son aquellos que se procesan a partir de productos tales como residuos agrícolas, desechos domésticos, desechos industriales, lodos de depuradora y adsorbentes poliméricos. La porosidad, la estructura de los poros y la naturaleza de sus superficies adsorbentes son específicas de cada adsorbente (Mansouri et al., 2021).

*Moringa oleífera Lam.* (Moringa) es una planta con distribución en todo mundo, procede de la India y posee gran adaptación a los cambios climáticos (Reddy et al., 2011). Su aplicación como bioadsorbente es una alternativa muy viable, por su abundancia, bajo costo y biodegradabilidad. La mayoría de las investigaciones para evaluar su capacidad como bioadsorbente han sido desarrolladas para la remoción de los metales (Tavares et al., 2017). En cuanto a su uso para la eliminación de compuestos orgánicos se encuentra en constante investigación, tanto en las semillas, cortezas y vainas, con un énfasis especial cuando se trata de la remoción de drogas, bajo las diferentes condiciones fisicoquímicas en las que interaccionan el fármaco y los adsorbentes. La especie *Moringa Oleífera L.*, posee muchos beneficios comprobados científicamente, sin embargo, aún quedan muchos puntos por aclarar, pero del análisis crítico de la bibliografía existente se plantea la posibilidad de explotar las proteínas de las tortas de los frutos para purificar el agua y algunos principios activos para usos médicos-farmacéuticos (Martín et al., 2013).

Recientes publicaciones, mencionan como una alternativa para remoción de contaminantes emergentes a los tratamientos con microalgas, como *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus sp.* cuyos principales mecanismos de remoción de contaminantes son: bioadsorción y biodegradación (Sandoval et al., 2020). La ozonización de efluentes industriales farmacéuticos ha mostrado gran eficiencia en la remoción de compuestos farmacéuticos, tales como los antibióticos, antiinflamatorios y estrógenos (Urbina y Solano, 2020).

Esta investigación tiene por objeto, determinar el efecto del uso de jabones elaborados con carbón activado y con polvo de semilla de moringa en la concentración de los fármacos ibuprofeno y amoxicilina presentes en un agua residual doméstica preparada en el laboratorio y aplicar el tratamiento de mayor eficiencia en un agua residual real.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Objeto de estudio

Para el estudio se preparó un agua residual doméstica a partir de extracto de carne y de vegetales, cloruro de sodio, urea, a la cual se le adicionaron 3 ppm de ibuprofeno y 3 ppm amoxicilina luego de un tiempo de reposo de 8 horas fue caracterizada con sus parámetros fisicoquímicos. La muestra de agua residual doméstica real se tomó en la desembocadura de estos efluentes al río Huallaga en la ciudad de Tingo María, Huánuco, Perú y se le dió el mismo tratamiento respecto a adición de fármacos y tiempo de contacto. Los resultados de la caracterización fisicoquímica de los dos tipos de aguas se muestran en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Caracterización del agua residual doméstica preparada y agua residual doméstica real

Parámetro	Valores en agua residual preparada	Valores en agua residual doméstica real
pH	7,8	7,82
Temperatura (°C)	-	22,7
Conductividad (µS/cm)	-	2470,43
NH <sub>3</sub> (mg/L)	26,6	-
NO <sub>3</sub> (mg/L)	1,9	-
SST (mg/L)	586	-

Parámetro	Valores en agua residual preparada	Valores en agua residual doméstica real
DQO (mg/L)	895	1138,1
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	298	403,6
Ibuprofeno (mg/L)	3	3
Amoxicilina (mg/L)	3	3

Para la aplicación de los tratamientos se prepararon jabones de 95 g utilizando glicerina comercial, carbón activado, polvo de semillas de moringa, los cuales fueron evaluados cualitativamente después de 48 horas de secado al ambiente, las características obtenidas se presentan en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Propiedades del jabón de glicerina con los adsorbentes carbones activado (CA) y semillas de moringa (SM) después de 48 horas de secado

Característica del jabón de glicerina	Proporción adsorbente / jabón (0,1 g/g de jabón)	
	CA	SM
Compactación	+++	++
Solubilidad	+++	+++
Formación de Espuma	++	+++

Leyenda: Alta: +++, Media: ++, Baja: +

Se utilizó el software Minitab, para el análisis estadístico y se aplicó un diseño experimental completo al azar con 9 tratamientos y 3 repeticiones. La aplicación del porcentaje en peso de jabones con carbón activado y jabón con polvo de semillas de moringa y otras variables fue homogénea para todos los tratamientos.

Los análisis de varianza y la prueba de Tukey permitieron comparar los efectos que producen los diferentes porcentajes en peso de jabón de carbón activado y de polvo de semillas de moringa en la concentración de fármacos del agua residual.

## 2.2 Métodos y Técnicas

La técnica utilizada para medir el peso de los componentes a agregar en el agua residual, los materiales adsorbentes utilizados en el jabón y el peso de los fármacos fue el test instrumental (metrología), con una balanza analítica digital marca Sartorius con una legibilidad de 0,1 mg. Para los medicamentos seleccionados se empleó una concentración nominal a partir de sus respectivos ingredientes activos de los productos comerciales para usarlos. Se empleó para la amoxicilina pastillas 500 mg, para ibuprofeno pastillas 400 mg, los cuales presentan 4000 y 10 de solubilidad en el agua. Las concentraciones fueron determinadas empleando un factor de dilución de 0,5 usando agua destilada, tomando en consideración los criterios de Jjemba (2006). Para el ibuprofeno se usó etanol al 96% para disolver la sustancia química (Ebeshi *et al.*, 2009). Para determinar la presencia y concentración del ibuprofeno y la amoxicilina, se utilizó Cromatografía Líquida acoplado a espectrometría de masas (LC-MS). Esta es una técnica robusta, sensible y selectiva, y se ha convertido en una técnica muy difundida para el análisis cuantitativo y cualitativo (Yoshida *et al.*, 2009).

**Tabla 3.** Cuadro comparativo de metodologías de investigaciones de remoción de Ibuprofeno y Amoxicilina con adsorbentes

Autor	Investigación realizada	Metodología
Mansouri <i>et al.</i> (2015)	Adsorción de ibuprofeno y amoxicilina con diferentes tipos de carbón activado	Se evaluó las características porosas del adsorbente con control del pH de la solución, la densidad del cambio de superficie en el carbono y la ionización del contaminante
Anchique <i>et al.</i> (2021)	Adsorción de amoxicilina e ibuprofeno en medio acuoso	Utilizaron los adsorbentes quitosano y óxido de grafeno Utilizaron carbón activado obtenido a partir de las semillas de moringa en un reactor por lotes, operado a diferentes valores de pH, tiempo de duración, concentración de ibuprofeno
Al-Kindi y Al- Haidri (2021)	Remoción de los fármacos residuales de los efluentes municipales.	

Autor	Investigación realizada	Metodología
Ciesielczyk <i>et al.</i> (2019)	La interacción electrostática de los enlaces químicos de un adsorbente y las moléculas de ibuprofeno	Determinaron que los enlaces químicos formados se producen por interacción de cargas positivas de un adsorbente y las moléculas de ibuprofeno cargadas negativamente.

### 2.3 Procedimiento

La parte experimental de la investigación inició con la preparación del agua residual, considerando 9 tratamientos y sus tres réplicas, cada unidad experimental tuvo un volumen de 1000 ml de agua residual sintética, preparada con extracto de vegetales, carne, cloruro de sodio y con un pH en el rango de 5 a 8, donde se disolvió el ibuprofeno y la amoxicilina a 3 ppm, por fármaco. El agua se sometió a reposo por un tiempo de 8 horas. Se utilizó el carbón activado en polvo y las semillas de moringa en polvo, mezclados con glicerina comercial, para obtener jabón sólido, a una proporción de 0,1 g por cada gramo de jabón. El jabón obtenido, se adicionó en escamas a cada unidad experimental y se agitó hasta la disolución completa del jabón; después de dos horas, el agua se filtró y se realizó un análisis cromatográfico de ibuprofeno y amoxicilina remanentes en el agua residual. Se utilizó el tratamiento de mayor eficiencia para su aplicación en el agua residual real y se procedió a determinar su eficiencia.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El agua residual preparada para la investigación tiene similitud en las características fisicoquímicas de un agua residual real, Sincero y Sincero (2003), mencionan que la demanda química de oxígeno para aguas residuales con los valores de 1000, 500 y 250 mg/L, se pueden clasificar en fuertes, medias y débiles respectivamente.

El agua residual doméstica muestreada presentó valores relativamente altos de DQO y DBO, esto evidencia su alta contaminación por carga orgánica. Se observa una elevada conductividad interpretada como un agua residual con compuestos iónicos, producto de la degradación de sustancias depositadas en el cauce de la quebrada con desembocadura al río Huallaga. Metcalf & Eddy (2003), mencionan que los valores típicos de las aguas residuales municipales presentan una DBO con un rango de 110-350 mg/L y DQO 250 - 800 mg/L, estos rangos permiten estimar un valor de biodegradabilidad entre 0,5 – 0,7, que son valores en efluentes que se consideran altamente biodegradables. Es importante mencionar que el valor de DQO del agua residual real de la investigación es elevado.

La solubilidad de los jabones elaborados para los experimentos es alta cuando se realizaron las pruebas de solubilidad en agua de la red, siendo un factor que favorece los fines de absorción de compuestos en el medio disuelto, sin embargo, su solubilidad disminuyó ligeramente cuando se aplicó al agua residual sintética. Al respecto Long *et al.* (1937), refieren que cuando las soluciones de jabones en la que el jabón es el único soluto pueden exhibir tensiones superficiales muy bajas en muy pequeñas concentraciones y esto se explica porque el ácido formado en la hidrólisis del jabón es altamente adsorbido por el propio jabón: es decir, que el ion negativo de la cadena de parafina es retenido electrostáticamente por el ion metálico positivo.

En la tabla 4, la concentración final más baja es de amoxicilina cuando se adicionan la mayor proporción de jabón de carbón activado y semillas de moringa. Por otro lado, se observa que el jabón con carbón activado con el 5% en peso adsorbe menos amoxicilina, efecto similar se observa sobre el ibuprofeno cuando se adicionan los jabones de carbón activado y semillas de moringa en un 5% en peso, en ambos casos las concentraciones finales de los fármacos son iguales 1,2 mg/L.

**Tabla 4.** Concentración final de Ibuprofeno y Amoxicilina después del contacto con los jabones con carbón activado y polvo de semillas de moringa.

Tratamiento Jabón /AR	Concentración final (mg/L)	
	Ibuprofeno	Amoxicilina
CA (5%)	0,87 b	1,20 a
CA (15%)	0,76 ab	0,90 ab
CA (25%)	0,66 ab	0,82 ab
SM (5%)	0,78 ab	0,80 ab

SM (15%)	0,61 ab	0,71 ab
SM (25%)	0,56 a	0,60 a
CA+SM (5%)	1,20 c	0,90 ab
CA+SM (15%)	0,85 b	0,75 ab
CA +SM (25%)	0,68 ab	0,54 a
F	11,61	2,65
Media	0,773	0,802
D.E	0,20	0,25
CV %	12,63	25,58

Valores con diferentes letras difieren estadísticamente. CA: Carbón Activado, SM: Semillas de Moringa

De los resultados mostrados la Tabla 4, se observa que el jabón con carbón activado remueve mayor porcentaje de ibuprofeno que amoxicilina, así también que el fármaco con mayor remoción es la amoxicilina y se produce con el jabón de polvo de semillas de moringa adicionado en 25% de porcentaje en peso, otro punto resaltante es que con la combinación de jabón con carbón activado y jabón con semillas de moringa adicionado en un 25% de porcentaje en peso, se obtiene una remoción similar de ambos fármacos que es 81,33% y 80% de ibuprofeno y amoxicilina respectivamente.

**Tabla 5.** Porcentaje de remoción de Ibuprofeno y Amoxicilina después del contacto con los jabones con carbón activado y polvo de semillas de moringa.

Tratamientos	Concentración inicial (mg/L)		Concentración final (mg/L)		Porcentaje de remoción (%)	
	Ibuprofeno	Amoxicilina	Ibuprofeno	Amoxicilina	Ibuprofeno	Amoxicilina
Jabón /AR						
CA (5%)	3	3	0,87	1,20	70,89 ab	60,00 a
CA (15%)	3	3	0,76	0,90	74,67 b	70,11 a
CA (25%)	3	3	0,66	0,82	78,00 b	72,78 a
SM (5%)	3	3	0,78	0,80	74,00 b	73,22 a
SM (15%)	3	3	0,61	0,71	79,78 b	76,44 a
SM (25%)	3	3	0,68	0,54	77,33 b	82,00 a
CA+SM (5%)	3	3	1,20	0,90	60,00 a	70,11 a
CA+SM (15%)	3	3	0,85	0,75	71,78 b	74,89 a
CA+SM (25%)	3	3	0,56	0,60	81,33 b	80,00 a
F					9,75	1,96
Media					74,234	73,259
D.E.					6,72	8,40
C.V.%					4,51	9,93

Valores con diferentes letras difieren estadísticamente.

Los resultados estadísticos, muestran que la máxima remoción de ibuprofeno obtenida con el jabón de semillas de moringa al 25% no difiere significativamente con los otros tratamientos a excepción de la remoción obtenida con el tratamiento con jabón de carbón activado y jabón de semillas de moringa al 5%. Para el caso de la remoción de amoxicilina, los tratamientos aplicados no son significativamente diferentes.

La adsorción de ibuprofeno y amoxicilina por efecto de carbón activado y polvo de semillas de moringa con jabones de glicerina, es posible, como lo demuestran los resultados cuantitativos de remoción de ambos fármacos, eso indica que los adsorbentes carbón activado y semillas de moringa, desarrollan su capacidad de adsorción con una eficiencia significativa, la cual teóricamente es por acción de fuerzas electrostáticas e interacciones químicas entre grupos funcionales del adsorbente y los contaminantes o adsorbatos.

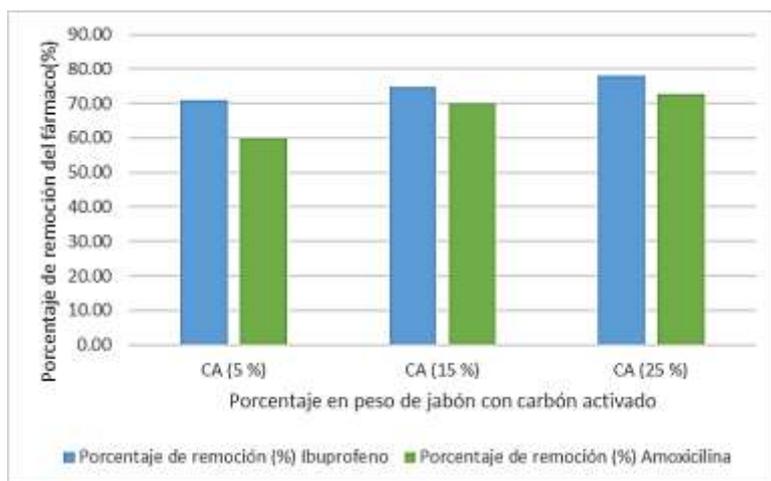
Mansouri et al. (2015), realizaron una investigación para evaluar el efecto de la competitividad de adsorción de ibuprofeno y amoxicilina con diferentes tipos de carbón activado, y reportaron que estos compuestos se adsorbieron en gran medida sobre los carbones nanoporosos elegidos con una tendencia esperada, basada en las características porosas del adsorbente y la aparición de interacciones específicas y/o dispersivas que son controlados por el pH de la solución, la densidad del cambio de superficie en el carbono y la ionización del contaminante. Comparativamente, el ibuprofeno es más fuertemente adsorbido que la amoxicilina, independientemente de la naturaleza del adsorbente, aunque el efecto es más pronunciado para los carbones hidrofóbicos.

La adsorción de ibuprofeno ha sido estudiada por muchos investigadores utilizando diferentes adsorbentes, quienes reportan el predominio de muchos mecanismos que incluye interacción electrostática, hidrofóbica (Van der Waals,  $\pi$ - $\pi$  y donador-aceptor de electrones) interacción y enlaces de hidrógeno (Oba et al., 2021). Ciesielczyk et al. (2019) informaron que la interacción electrostática se debe principalmente a los enlaces químicos formados entre los grupos funcionales cargados positivamente de un adsorbente y las moléculas de ibuprofeno cargadas negativamente.

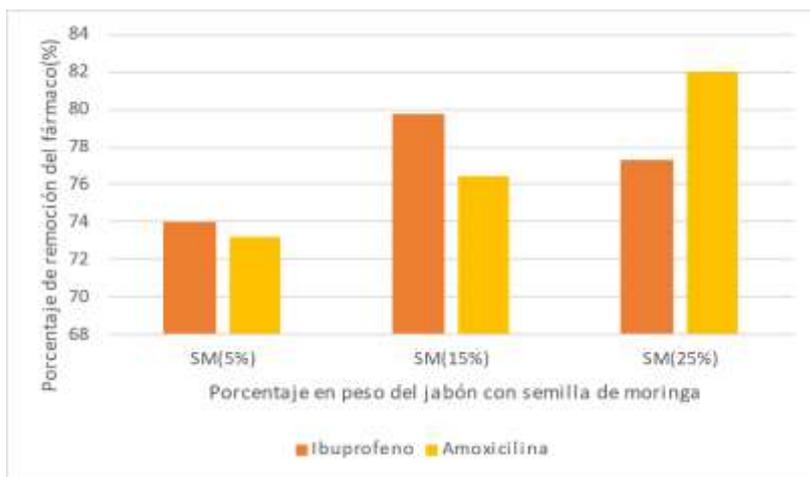
Anchique et al.,(2021) afirma que “un absorbente adecuado para un tipo particular de contaminante no necesariamente absorbe otros tipos de compuestos, por lo que conocer la compatibilidad entre un contaminante particular y un absorbente potencial antes de la experimentación parece ser fundamental”, después de realizar una investigación de adsorción de amoxicilina e ibuprofeno con los adsorbentes quitosano y óxido de grafeno, en sus resultados reporta diferencia en la adsorción de ambos fármacos donde los complejos de amoxicilina están impulsados principalmente por enlaces de hidrógeno, mientras que las interacciones de Van der Waals con el quitosano y las interacciones hidrofóbicas con los óxidos de grafeno se modelan para los complejos de ibuprofeno.

Álvarez et al.(2017) determinaron la adsorción de materiales carbonosos de diferentes materias primas entre éstas, el hueso de melocotón, la cáscara de arroz, el serrín, utilizando las isotermas de adsorción, en el experimento se trabajó con los contaminantes: ibuprofeno, tetraciclina, diclofenaco y naproxeno, en una concentración de 100mg/L, los resultados describieron una destacada adsorción de tetraciclina sobre el carbón activado de hueso de melocotón a razón de 846 mg adsorbato por gramo de adsorbente.

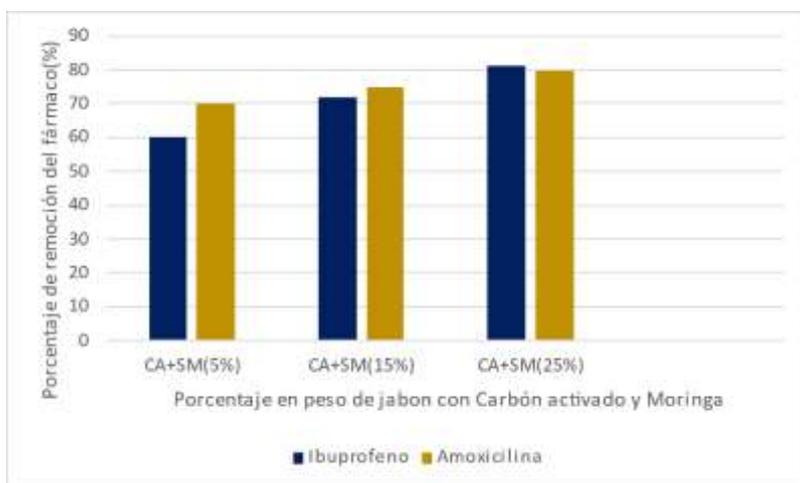
Silva et al. (2018) realizaron un estudio experimental en el cual se preparó carbón activado utilizando desechos de la preparación de té tales como: manzanilla, menta y té verde y aplicando modificaciones químicas en el proceso tales como: carboxilación, tiolación y sulfonación, para ser probada en la adsorción de Penicilina G. Las pruebas de adsorción demostraron que la acidez tiene una gran influencia en la eliminación del antibiótico, ya que los nuevos grupos funcionales, desarrollan nuevas interacciones químicas, como las interacciones dipolo-dipolo, que son resaltantes.



**Figura 1.** Porcentaje de remoción de ibuprofeno y amoxicilina con jabón con carbón activado



**Figura 2.** Porcentaje de remoción de ibuprofeno y amoxicilina con jabón con semillas de moringa



**Figura 3.** Porcentaje de remoción de ibuprofeno y amoxicilina con todos los tratamientos

De los resultados mostrados la Tabla 6, se observa que la aplicación del tratamiento con mayor eficiencia obtenido con el agua residual artificial disminuye su porcentaje de remoción al ser aplicado en un agua residual real y tiene menor eficiencia para remover la amoxicilina.

**Tabla 6.** Porcentaje de remoción de Ibuprofeno y Amoxicilina después del contacto con los jabones con carbón activado y polvo de semillas de moringa.

Tratamientos	Concentración inicial (mg/L)		Concentración final (mg/L)		Porcentaje de remoción (%)	
	Ibuprofeno	Amoxicilina	Ibuprofeno	Amoxicilina	Ibuprofeno	Amoxicilina
Jabón /AR						
CA+SM (25%)	3	3	0,83	0,91	72,30	69,70 a
AR Real						
CA+SM (25%)	3	3	0,68	0,54	77,33	82,00 b
AR Artificial						
p-valor			0,0006	0,0211	0,0007	0,0214
Media			0,75	0,72	74,87	75,85
D.E			0,09	0,23	2,88	7,67
CV%			2,54	16,95	0,90	5,41

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

Los resultados estadísticos obtenidos con el software Minitab 21, muestran que la remoción de ibuprofeno y amoxicilina en el agua residual real obtenida con la combinación de jabón con carbón activado y el jabón de semillas de moringa al 25% difiere significativamente de la remoción de los fármacos en el agua residual artificial con un intervalo de confianza del 95%.

Durante la investigación, la solubilidad ha disminuido según los jabones han entrado en contacto con aguas con más contaminantes, este aspecto es importante ya que influye en el contacto entre fármaco y adsorbente. Según Natarajan et al. (2022) el desarrollo de fuerzas del tipo físicas, enlaces químicos débiles, la presencia y acción de grupos funcionales, enlaces de hidrógeno, las fuerzas electrostáticas y la donación-aceptación de electrones, son mecanismos que hacen posible la interacción entre el adsorbato-adsorbente. Estos mecanismos no afectan la estructura del adsorbente, por lo tanto, no pierde su propiedad y no es una amenaza para los organismos vivos (Patel et al.,2019).

El porcentaje de remoción de ibuprofeno y amoxicilina por efecto de carbón activado y polvo de semillas de moringa con jabones de glicerina disminuyó cuando se aplicó en agua residual real, con relación al resultado obtenido sobre un agua residual artificial. En referencia a lo observado, hay que mencionar que un agua residual doméstica, contiene muchos materiales suspendidos y otros disueltos, además se expone a condiciones fisicoquímicas que favorecen, la solubilidad de ciertas sustancias orgánicas e inorgánicas que reaccionan entre sí, formando complejos que incrementan su contaminación y dificultan la adsorción por saturación del área superficial o de las reacciones en los centros activos con sustancias no deseadas.

En esta investigación, la remoción de ibuprofeno en agua residual doméstica real fue mayor que la de amoxicilina, que ambos fármacos presentan solubilidades en agua, y, en las pruebas con agua residual artificial, se obtuvo mayor remoción de amoxicilina. La diferencia radica en la composición del medio de solubilización de los fármacos, ya que un agua residual real presenta una gran gama de compuestos disueltos que desarrollan diversos mecanismos que pueden favorecer o entorpecer la adsorción de los fármacos, para el caso la calidad del agua residual doméstica colectada fue favorable para la remoción de ibuprofeno.

Aunque el pH del agua residual doméstica real y del agua residual artificial fueron muy similares, con valores de 7,82 y 7,8 respectivamente, son valores de pH básico e indican mayor concentración de iones hidroxilo, que pueden reaccionar con los grupos ácidos del ibuprofeno y los grupos amino de la amoxicilina, disminuyendo su disponibilidad para la adsorción. Los parámetros fisicoquímicos influyen en la eficiencia de los procesos, sin embargo, es posible que, a otros valores de pH, la eficiencia de adsorción de los fármacos sea diferente.

Al-Kindi y Al- Haidri (2021), realizaron una investigación para remover los fármacos residuales de los efluentes municipales, utilizando un carbón activado obtenido de las semillas de moringa en las siguientes condiciones: con un reactor por lotes se determinaron las condiciones óptimas de operación utilizando varios parámetros con diferentes valores de pH, tiempo de duración, concentración de ibuprofeno y diversas cantidades de semillas de plantas. En el reactor discontinuo, las condiciones de operación fueron: pH 7, tiempo de duración 150 minutos, dosis de ibuprofeno de 1000mg/l, adsorbentes activados y semillas de *Moringa Oleifera* en la cantidad de 1000mg/L, estos investigadores, concluyen que las semillas activadas de *Moringa Oleifera* son una buena alternativa y de bajo costo, para remover ibuprofeno de las aguas residuales.

Aunque la adsorción es un proceso que podría considerarse como parte del tratamiento convencional de aguas residuales, los resultados de esta investigación obtenidos con el agua residual artificial indican un efecto significativo en la remoción de los fármacos ibuprofeno y amoxicilina, con valores más altos entre 77,3% y 82%, evidenciándose gran potencial de adsorción con la combinación de jabón con carbón activado y jabón con semillas de moringa y también con el tratamiento que implica el uso del jabón con polvo de semillas de moringa al mayor porcentaje en peso.

Los porcentajes de remoción de ibuprofeno y amoxicilina en agua residual doméstica real, fueron de 72,3% y 69,7% respectivamente, los cuales son resultados relativamente significativos para su aplicación como alternativa de tratamiento de aguas residuales, ya que es una técnica de bajo costo y de sencilla aplicación y manejo. Investigaciones recientes reportan tasas remoción similares utilizando tratamientos alternos y avanzados, como el tratamiento con humedales, con la especie Papiro enano que alcanzó entre 49% y 61% de remoción de ibuprofeno, en las pruebas con altas concentraciones del fármaco: 2,7 mg/L y 1,7 mg/L; mientras a bajas concentraciones de fármaco: 0,2 mg/l, el porcentaje de remoción obtenido fue entre: 71% y 84% (Cervantes et al.,2017) y la mineralización de diclofenaco de sodio mediante ozonización catalítica heterogénea a una concentración de diclofenaco de 35 mg/L, los resultados obtenidos fueron una reducción de 94% de carbono orgánico total y 86% de demanda química de oxígeno (Castro et al.,2019).

De los resultados obtenidos, los adsorbentes usados para mezclarlos con glicerina mantienen su poder adsorbente, aun mezclado con jabón de glicerina, debido a la reactividad de la glicerina como soporte de estos excelentes adsorbentes. Químicamente la glicerina es un polialcohol conformado por una cadena carbonada con tres átomos de carbono y tres grupos hidroxilos (CH<sub>2</sub>OH-CHOH- CH<sub>2</sub>OH). Los grupos alcohólicos, primarios y secundarios, le dan la posibilidad de desarrollar muchas reacciones, sustituyendo con otros grupos funcionales y formando derivados como los esteres, aminas y aldehídos (Betancourt et al., 2016).

#### 4. CONCLUSIONES

En aguas residuales artificiales, la amoxicilina es el fármaco con mayor porcentaje de remoción y se obtuvo con la adición del mayor porcentaje en peso de jabón con carbón activado y polvo de semillas de moringa. Por otro lado, el jabón con polvo de semillas de moringa adicionado en un 25% en peso, logró un porcentaje de remoción similar y significativa para ambos fármacos. El jabón con carbón activado logró la mayor remoción de ibuprofeno. Finalmente, se puede afirmar que en aguas residuales domésticas reales, la aplicación combinada de jabón de glicerina con carbón activado y jabón de glicerina con polvo semillas de moringa al 25% en peso, permite remover ibuprofeno y amoxicilina, siendo mayor el porcentaje de remoción para el ibuprofeno. Este resultado difiere al obtenido en aguas residuales artificiales donde la remoción de amoxicilina fue mayor que el ibuprofeno.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Al-Kindi, GY, Al-Haidri, H. (2021). La Eliminación de Residuos de Drogas Ibuprofen de Aguas Residuales Municipales por Semillas de Moringa Oleifera. *Diario de Ingeniería Ecológica*, 22 (1), 83-94. <https://doi.org/10.12911/22998993/128868>
- Álvarez, S., Ovejero, G. & García, J. (2017). Eliminación de los contaminantes emergentes de las aguas residuales. *Investigación y Ciencia*.
- Anchique, L., Alcázar, J. J., Ramos-Hernández, A., Méndez-López, M., Mora, J. R., Rangel, N., Márquez, E. (2021). Predicting the Adsorption of Amoxicillin and Ibuprofen on Chitosan and Graphene Oxide Materials: A Density Functional Theory Study. *Polymers*, 13(10), 1620. <https://doi.org/10.3390/polym13101620>
- Atugoda, T., Vithanage, M., Wijesekara, H., Bolan, N., Sarmah, A. K., Bank, M. S., You, S., & Ok, Y. S. (2021). Interactions between microplastics, pharmaceuticals and personal care products: Implications for vector transport. *Environment international*, 149, 106367. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106367>
- Betancourt-Aguilar, Carmen, Mello-Prado, Renatode, Castellanos-González, Leónides, & Silva-Campos, Cid N. (2016). Características de la glicerina generada en la producción de biodiesel, aplicaciones generales y su uso en el suelo. *Cultivos Tropicales*, 37(3), 7-14. <https://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.4329.2403>
- Castro, J., Paz, S., Mena, N., Urresta, J., y Machuca-Martínez, F. (2019). Evaluation of heterogeneous catalytic ozonation process for diclofenac degradation in solutions synthetically prepared. *Environmental Science and Pollution Research International*, 26(5), 4488-4497. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2582-1>
- Cervantes, S. P., Londoño, Y. A., Roa Gutiérrez, F., & Peñuela, G. A. (2017). Evaluación de humedales artificiales de flujo subsuperficial en la remoción de diferentes concentraciones de ibuprofeno empleando *Cyperus papyrus*. *Tecnología Y Ciencias Del Agua*, 8(5), 105 - 116. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2017-05-07>
- Ciesielczyk, F., Żółtowska-Aksamitowska, S., Jankowska, K., Zembrzuska, J., Zdarta, J., Jesionowski, T. (2019). The role of novel lignosulfonate-based sorbent in a sorption mechanism of active pharmaceutical ingredient: batch adsorption tests and interaction study. *Adsorption* 25 (4), 865–880
- Ebeshi Benjamin U, Oseni Kehinde E., Ahmadu Augustine A., Oluwadiya James O. (2009). Comparative utilization of visual, potentiometric titrations and UV spectro- photometric methods in the determination of Ibuprofen. *African Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 3(9) (2009) 426-431.
- Iannacone, J., & Alvarino, L. (2009). Evaluacion del riesgo acuatico de siete productos farmaceuticos sobre *Daphnia magna*. *Ecología Aplicada*, 8(1-2), 71+. <https://link.gale.com/apps/doc/A220202877/IFME?u=uesan&sid=IFME&xid=b22664f8>
- Jjemba P. K. (2006). Excretion and ecotoxicity of pharmaceutical and personal care products in the environment. *Ecotoxicology and environmental safety*, 63(1), 113–130. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2004.11.011>
- Kalantary, RR, Jamshidi, A., Mofrad, MMG, Jafari, AJ, Heidari, N., Fallahizadeh, S., Arani, MH, Torkashvand, J. (2021) Efecto de la pandemia de COVID-19 en la gestión de desechos médicos: un

- estudio de caso. *J. Medio Ambiente. Ciencias de la Salud Ing.* 19, 831–836.
- Long, FA, Nutting, GC y Harkins, WD (1937). La tensión superficial de las soluciones acuosas de jabón en función de los iones de hidrógeno (pH) y la concentración de sal. I. Laurato de sodio y nonilato de sodio. *Revista de la Sociedad Química Estadounidense*, 59(11), 2197–2203. doi:10.1021/ja01290a032
- Macías, A., García, J., Carrasco, J.P., Segura, R. (2019). Adsorption of Paracetamol in Hospital Wastewater Through Activated Carbon Filters. *Sustainability*, 11(9), 2672, <https://doi.org/10.3390/su11092672>
- Mansouri, F., Chouchene, K., Roche, N., Ksibi, M. (2021). Eliminación de productos farmacéuticos del agua mediante procesos de adsorción y oxidación avanzada: estado del arte y tendencias. *Ciencias Aplicadas*, 11 (14), 6659. <http://dx.doi.org/10.3390/app11146659>
- Mansouri, H., Carmona, R. J., Gomis-Berenguer, A., Souissi-Najar, S., Ouederni, A., & Ania, C. O. (2015). Competitive adsorption of ibuprofen and amoxicillin mixtures from aqueous solution on activated carbons. *Journal of Colloid and Interface Science*, 449, 252–260. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2014.12.020>
- Martín, C., Martín, G., García, A., Fernández, T., Hernández, E. y Puls, J. (2013). Potenciales aplicaciones de Moringa oleifera. Una revisión crítica. *Pastos y Forrajes*, 36(2), 137+. <https://link.gale.com/apps/doc/A448138228/IFME?u=uesan&sid=IFME&xid=3b35070> d.
- Metcalf & Eddy (2003). *Wastewater Engineering, Treatment and Reuse* (4ª ed.). McGraw-Hill.
- Mirzaei, R., Yunesian, M., Nasser, S., Gholami, M., Jalilzadeh, E., Shoeibi, S., & Mesdaghinia, A. (2018). Occurrence and fate of most prescribed antibiotics in different water environments of Tehran, Iran. *The Science of the total environment*, 619-620, 446–459. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.272>
- Natarajan, R., Saikia, K., Ponnusamy, S. K., Rathankumar, A. K., Rajendran, D. S., Venkataraman, S., ... Vaidyanathan, V. K. (2022). Understanding the factors affecting adsorption of pharmaceuticals on different adsorbents – A critical literature update. *Chemosphere*, 287, 131958. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131958>
- Oba, S. N., Ighalo, J. O., Aniagor, C. O., & Igwegbe, C. A. (2021). Removal of ibuprofen from aqueous media by adsorption: A comprehensive review. *Science of The Total Environment*, 780, 146608. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146608>
- ONU. *Agua medicada: el consumo moderno de fármacos se convierte en un desafío ambiental*. (2018, 06 de agosto). <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/agua-medicada-el-consumo-moderno-de-farmacos-se-convierte-en-un#:~:text=%22Solo%20nueve%20de%20118%20productos,%25%22%2C%20dice%20el%20informe>
- Patel, M., Kumar, R., Kishor, K., Mlsna, T., Pittman Jr., C.U., Mohan, D. (2019). Pharmaceuticals of emerging concern in aquatic systems: chemistry, occurrence, effects, and removal methods. *Chem. Rev.* 119, 3510–3673.
- Patiño, Y., Díaz, E. y Ordóñez, S. (2014). Microcontaminantes emergentes en aguas: Tipos y sistemas de tratamiento. *Avances En Ciencias e Ingeniería*, 5(2), 1-20.
- Petrovic, M., de Alda, MJL, Díaz-Cruz, S., Postigo, C., Radjenovic, J., Gros, M., Barceló, D. (2009). Destino y eliminación de productos farmacéuticos y drogas ilícitas en plantas de tratamiento de aguas residuales convencionales, biorreactores de membrana y por filtración de ribera. *Filosofía Trans. R. Soc. Matemáticas. física Ing. ciencia* 367, 3979–4003.
- Reddy, D.H.K., Ramana, D.K.V., Seshaiyah, K., Reddy, A.V.R. (2011). Biosorption of Ni(II) from aqueous phase by Moringa oleifera bark, a low cost biosorbent. *Desalination* 268 (1-3), 150-157. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.10.011>.
- Sandoval, J.A., Morales Granados, M.A., Rubio, D. (2020). Breve revisión del uso de microalgas para la remoción de contaminantes emergentes en aguas residuales. *Gestión y Ambiente* 23(1). DOI: <https://doi.org/10.15446/ga.v23n1.84034>.
- Silva, J. C., Morante, L., Moreno, C. J., Cuizano, N. A., Navarro, A. E., & Llanos, B. P. (2018). Mejora De Las Propiedades Adsorptivas De Biomateriales Mediante Modificaciones Químicas en La Eliminación De Antibióticos. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 84(2), 183–196. <https://doi.org.esan.idm.oclc.org/10.37761/rsqp.v84i2.140>
- Sincero, AP y Sincero, GA (2003). *Tratamiento físicoquímico de aguas y aguas residuales* CRC. Press.
- Szabo, RK; Megyeri, C.; Illés, E.; Gajda-Schrantz, K.; Mazellier, P.; Dombi, A.(2011). Fototransformación de ibuprofeno y ketoprofeno en soluciones acuosas. *Chemosphere* 84, 1658–1663.
- Tavares, F.O., Pinto, L.A.D., Bassetti, F.D., Vieira, M.F., Bergamasco, R., Vieira, A.M.S. (2017).

- Environmentally friendly biosorbents (husks, pods and seeds) from *Moringa oleifera* for Pb(II) removal from contaminated water. *Environ. Technol.* 38 (24), 3145-3155. <https://doi.org/10.1080/09593330.2017.1290150>.
- Urbina, J. A. J., & Solano, J. A. V. (2020). Los contaminantes emergentes de las aguas residuales de la industria farmacéutica y su tratamiento por medio de la ozonización/Wastewater treatment of the pharmaceutical industry through the ozone technique. *Informador Técnico*, 84(2), 90+. <https://link.gale.com/apps/doc/A632329472/IFME?u=uesan&sid=IFME&xid=eaad3c02>
- Wang, J., Chu, L., Wojnárovits, L., & Takács, E. (2020). Occurrence and fate of antibiotics, antibiotic resistant genes (ARGs) and antibiotic resistant bacteria (ARB) in municipal wastewater treatment plant: An overview. *The Science of the total environment*, 744, 140997. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140997>
- Yoshida H, Yamazaki J, Ozawa S, Mizukoshi T, Miyano H (2009) Advantage of LC- MS metabolomics methodology targeting hydrophilic compounds in the studies of fermented food samples. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 57(4),1119-1126. <https://doi.org/10.1021/jf803235m>