

**UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**“REDUCCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE IBUPROFENO EN UNA  
MUESTRA DE AGUA SINTÉTICA, MEDIANTE FOTOCATÁLISIS  
HETEROGÉNEA”**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

Para optar el Título Profesional de

**INGENIERO AMBIENTAL**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER**

LAOS BARRERA, LOURDES MAGNOLIA

**Villa El Salvador**

**2019**

## **DEDICATORIA**

A mis padres, Juan y Rosa, quienes con mucho esfuerzo y dedicación contribuyen con mi desarrollo personal y profesional.

## **AGRADECIMIENTOS**

Gracias a Dios por darme las fuerzas y la motivación de desarrollar la presente investigación y no dejarme caer en momentos difíciles. De igual manera, un agradecimiento infinito a aquellas personas como mis profesores de la universidad y externos por su apoyo constante para aclarar mis dudas.

Un agradecimiento especial a mí asesor, el Ing. Agérico Pantoja Cadillo, quien con su vasto conocimiento, experiencia y consejos me orientó y guio en todo este proceso. Asimismo, al Ing. Walter Tapia; Químico Aldo Guzmán; y, Gabriela Ramos por su gran colaboración y apoyo técnico.

Agradecer también a mis compañeros de trabajo por brindarme las facilidades y ser un gran soporte moral.

Gracias a mis amigas Leidy y Estefanía por su amistad sincera, por escucharme y brindarme su apoyo para la realización de esta investigación.

A mis padres, hermanos, tíos, primos y sobrinos por siempre creer en mí.

## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>8</b>
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>10</b>
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>10</b>
1.1. Descripción de la Realidad Problemática .....	10
1.2. Justificación del Problema .....	12
1.3. Delimitación del Proyecto .....	13
1.3.1. Teórica.....	13
1.3.2. Temporal.....	13
1.3.3. Espacial .....	13
1.4. Formulación del Problema.....	14
1.4.1. Problema General.....	14
1.4.2. Problemas Específicos .....	14
1.5. Objetivos.....	15
1.5.1. Objetivo General.....	15
1.5.2. Objetivos Específicos .....	15
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>16</b>
<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>16</b>
2.1. Antecedentes.....	16
2.2. Bases Teóricas.....	19
2.2.1. Contaminantes Emergentes en el ambiente .....	19
2.2.2. Determinación de contaminantes emergentes presentes en aguas.....	22
2.2.3. Tratamiento de aguas residuales.....	28
2.2.4. Fotocatálisis heterogénea.....	30
2.2.5. Normativa para las aguas residuales.....	33
2.3. Definición de términos básicos .....	38
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>40</b>
<b>DESARROLLO DEL TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL.....</b>	<b>40</b>
3.1. Modelo de solución propuesto.....	40
3.2. Resultados .....	47
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>52</b>

<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>53</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>54</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>58</b>

## LISTADO DE TABLAS

<i>Tabla 1.</i> Presencia de fármacos en agua potable, superficial y residual .....	19
<i>Tabla 2.</i> Toxicidad de ibuprofeno .....	20
<i>Tabla 3.</i> Propiedades básicas del Ibuprofeno.....	21
<i>Tabla 4.</i> Productos de degradación del Ibuprofeno .....	22
<i>Tabla 5.</i> Listado de fármacos contenidos en la EPA .....	34
<i>Tabla 6.</i> Categoría 1: Poblacional Recreacional - Subcategoría A: Superficiales destinadas a la producción de agua potable .....	35
<i>Tabla 7.</i> Límites Máximos Permisibles para los Efluentes de PTAR .....	37
<i>Tabla 8.</i> Anexo N° 1 – Valores Máximos Admisibles .....	37
<i>Tabla 9.</i> Muestra con estándar de ibuprofeno .....	43
<i>Tabla 10.</i> Muestra con pastilla de ibuprofeno .....	44
<i>Tabla 11.</i> Factor de referencia.....	48
<i>Tabla 12.</i> Concentración inicial de ibuprofeno .....	49
<i>Tabla 13.</i> Concentración final de Ibuprofeno .....	50
<i>Tabla 14.</i> Eficiencia del sistema para la reducción de ibuprofeno .....	51

## LISTADO DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Estructura molecular del Ibuprofeno.....	21
<i>Figura 2.</i> Curva espectral .....	26
<i>Figura 3.</i> Curva de calibración.....	26
<i>Figura 4.</i> Interpolación gráfica .....	27
<i>Figura 5.</i> Espectro de luz UV-VIS de estándar de ibuprofeno .....	28
<i>Figura 6.</i> Estructuras cristalinas del TiO <sub>2</sub> , (a) Anatasa, (b) Rutilo, (c) Brookita ....	32
<i>Figura 7.</i> Flujo procedimental.....	41
<i>Figura 8.</i> Sistema de tratamiento .....	43
<i>Figura 9.</i> Cálculo del R <sub>f</sub> .....	47
<i>Figura 10.</i> Determinación de longitud de onda.....	49
<i>Figura 11.</i> Concentración Estándar de Ibuprofeno vs Absorbancia .....	49
<i>Figura 12.</i> Concentración de Ibuprofeno vs abs.....	50

## INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales, provenientes de los diferentes sectores clasificadas como domésticas o no domésticas, están compuestas por una serie de contaminantes según la actividad de las que provienen, por lo que necesariamente deben recibir un tratamiento antes de su vertimiento directo al sistema de alcantarillado o a cuerpos de agua natural, afectando la vida acuática, alterando el ambiente y la salud de las personas.

La existencia de Estándares de Calidad Ambiental, Límites Máximos Permisibles y Valores Máximos Admisibles contribuyen con la regulación de estos efluentes, determinando su calidad -mediante parámetros establecidos- antes de ser vertidos y una vez que se encuentren en el recurso hídrico; sin embargo, cabe precisar que estas concentraciones identificadas en las normativas en mención, no garantizan en su totalidad que el cuerpo de agua resulte afectado, provocando alteraciones a un mediano o largo plazo.

La presencia de aquellos compuestos llamados contaminantes emergentes, en aguas residuales es producto del uso de pesticidas; productos de cuidado personal; así como, del consumo de fármacos; entre otros, los cuales se encuentran en pequeñas concentraciones, provocando consecuencias en el ambiente, como es el caso de los cuerpos de agua, debido a falta de regulación estricta.

La implementación de plantas para el tratamiento de aguas residuales, se llevan a cabo en diversas actividades, con la finalidad de que al realizar sus vertimientos, estos cumplan con la normativa; es decir, que las concentraciones de aquellos parámetros se encuentren en cantidades permisibles, para ello es necesario que estas plantas de tratamiento cuenten con los procesos adecuados, empezando desde un tratamiento primario hasta llegar a un tratamiento terciario - o en caso de requerirse- hasta un tratamiento avanzado.

Los tratamientos convencionales resultan en su gran mayoría procesos inadecuados puesto que no logran una degradación completa de los



contaminantes que poseen una biodegradabilidad baja, como los contaminantes emergentes. La implementación de estos tratamientos en una planta pueden estar comprendidos por tratamientos primarios, secundarios y terciarios, como también por tratamientos avanzados cuya aplicación dependerá del tipo de efluente que se desea tratar.

Existe una variedad de procesos alternativos y avanzados para el tratamiento de este tipo de efluentes, como la aplicación de la fotocátalisis heterogénea como un Proceso de Oxidación Avanzada para la remoción de contaminantes como los productos farmacéuticos. El uso de esta tecnología ha ido posicionándose con el transcurrir de los años, siendo utilizada en sectores industriales para mejorar la calidad de sus efluentes.

La fotocátalisis heterogénea mediante el uso de un fotocatalizador o semiconductor como el Dióxido de Titanio ( $\text{TiO}_2$ ) va a reaccionar con la radiación solar que incide en el reactor para la producción de radicales hidroxilos ( $\text{OH}^\bullet$ ), permitiendo que estos degraden los contaminantes complejos con alta materia orgánica presentes en los efluentes.

El presente estudio pretende reducir la concentración de ibuprofeno - fármaco clasificado como contaminante emergente- en muestras de agua preparadas, las cuales, simulan las aguas residuales que provienen de las plantas de tratamiento, teniendo como destino final cualquier tipo de cuerpo natural.

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1. Descripción de la Realidad Problemática**

Las aguas residuales domésticas, no domésticas e industriales, usualmente son tratadas previo a su vertimiento; sin embargo, en muchos casos no reciben el tratamiento adecuado no siendo consciente de la composición de este tipo de efluentes que repercuten de manera negativa en el ambiente.

Al respecto, cabe precisar que diversos estudios de investigación han demostrado la presencia de contaminantes emergentes en este tipo de efluentes, manifestando que estos provienen de actividades antrópicas tales como el uso de medicamentos que en muchas ocasiones al cumplirse su periodo de caducidad, tienen una disposición final de manera inadecuada, siendo arrojados a la red de alcantarillado. Asimismo, estos medicamentos son excretados por la orina, llegando a los cuerpos de agua en su forma original y sus derivados.

Las plantas de tratamiento de aguas residuales convencionales no logran remover este tipo de contaminantes, por lo que al llegar a los cuerpos de agua natural, ocasionan daños a la salud y al ambiente, razón por la cual, es conveniente que estos efluentes sean tratados mediante procesos avanzados.

La promoción de alternativas que logren la reducción de los contaminantes emergentes va de la mano con el establecimiento de normativas que regulen la presencia de los mismos tanto en los efluentes como en los recursos hídricos.

En Perú, las investigaciones respecto a la identificación, cuantificación y tratamiento de estos contaminantes emergentes es muy escasa, dado que aún no se le está dando la importancia de sus posibles efectos negativos, tal es así, que al no estar regulados, los laboratorios no realizan el análisis de estos contaminantes.

## **1.2. Justificación del Problema**

En los últimos años, existe una gran preocupación por la presencia de contaminantes emergentes en cuerpos de agua natural y sus posibles consecuencias, a causa del consumo de fármacos ya sea autorizado o automedicado; así como, el uso de productos de cuidado e higiene personal, entre otros, que usa la población.

La presencia del ibuprofeno en aguas residuales es muy probable dado el acceso que tiene la población en el consumo de este fármaco como anti-inflamatorio y analgésico, que al ser ingeridos gran parte son excretados por la orina, llegando al sistema de alcantarillado y posteriormente a un cuerpo natural o a una planta de tratamiento de aguas residuales que no logran removerlos en su totalidad.

En ese sentido, el tratamiento de las aguas residuales que se vienen efectuando no son las adecuadas, por lo que en este trabajo se simuló dichas aguas con el contaminante emergente, siendo este el ibuprofeno, el cual fue tratado mediante fotocátalisis heterogénea, tecnología de oxidación avanzada, que permite la reducción de aquellos compuestos farmacéuticos presentes en este tipo de efluentes, beneficiando al ambiente y la salud de las personas.

### **1.3. Delimitación del Proyecto**

#### 1.3.1. Teórica

La presente investigación se encuentra enmarcada en estudios que han logrado identificar y cuantificar aquellos contaminantes emergentes presentes en los cuerpos de agua natural producto del vertimiento de aguas residuales que recibieron tratamiento; no obstante, no fueron los más adecuados.

#### 1.3.2. Temporal

El periodo de duración de esta investigación fue durante los meses de enero a abril del año 2019.

#### 1.3.3. Espacial

La presente investigación se llevó a cabo a escala de laboratorio, realizando la preparación de muestras sintéticas con ibuprofeno, las cuales fueron tratadas mediante fotocatalisis heterogénea, sistema que se instaló en el laboratorio de Físicoquímica de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur (UNTELS) en Villa El Salvador.

## **1.4. Formulación del Problema**

### 1.4.1. Problema General

¿En qué medida se reducirá la concentración de ibuprofeno presente en la muestra de agua sintética, mediante fotocátalisis heterogénea?

### 1.4.2. Problemas Específicos

- ¿Cómo influye el tiempo de exposición determinado, en la reducción de la concentración de ibuprofeno presente en la muestra de agua sintética tratada mediante fotocátalisis heterogénea?
- ¿De qué manera influye el valor específico del potencial de hidrógeno (pH) en la reducción de la concentración de ibuprofeno presente en la muestra de agua sintética tratada mediante fotocátalisis heterogénea?

## **1.5. Objetivos**

### 1.5.1. Objetivo General

Reducir la concentración de Ibuprofeno presente en la muestra de agua sintética, mediante Fotocatálisis Heterogénea.

### 1.5.2. Objetivos Específicos

- Evaluar la influencia del tiempo de exposición determinado, en la reducción de la concentración de ibuprofeno presente en la muestra de agua sintética tratada mediante fotocátalisis heterogénea.
- Verificar la influencia del valor específico del potencial de hidrógeno (pH) en la reducción de la concentración de ibuprofeno presente en la muestra de agua sintética tratada mediante fotocátalisis heterogénea.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes

Los efluentes además de estar compuestos por los parámetros que establecen las normativas, están compuestos por los llamados contaminantes emergentes, entre ellos los productos farmacéuticos; por lo que en 1976, en Kansas, se dio el primer estudio que tuvo lugar en una planta de tratamiento de residuos, tal como lo señala el estudio denominado *Contaminación de las aguas con productos farmacéuticos* de Quesada et al., (2009).

La presencia de contaminantes emergentes en efluentes hospitalarios sin tratamiento pueden resultar un medio para el desarrollo de bacterias resistentes, por lo que en el estudio *Perfil microbiológico y resistencia bacteriana a desinfectantes en aguas residuales de hospital* de Lidia Núñez y Juan Moretton (2006), se determinan aquellas características microbiológicas, identificando las bacterias resistentes y evaluando su nivel de resistencia a distintos desinfectantes que se utilizan en los hospitales. Entre las bacterias resistentes identificadas fueron *Pseudomonas*, *Salmonella*, *Shigella* y *Staphylococcus*.



El estudio *Contaminación de las aguas con productos farmacéuticos. Estrategias para enfrentar la problemática* de Quesada et al. (2009), caracteriza las aguas residuales, demostrando que estos productos farmacéuticos poseen una baja biodegradabilidad, que incluso cuando pudieran ser biodegradables, debe tenerse en cuenta la transformación que pueden experimentar durante el tratamiento terciario en una planta de tratamiento de residuales (casi siempre la cloración). Por otro lado, en algunos casos, los fármacos pueden ser absorbidos en los lodos, teniendo como consecuencia que no se produzca una correcta biodegradación. Todos estos elementos sugieren la valoración del empleo de tratamientos no convencionales tales como las técnicas avanzadas de oxidación o la oxidación catalítica en aquellos casos en los que el tratamiento biológico no sea factible.

Asimismo, la investigación *Presencia de contaminantes emergentes en aguas y su impacto en el ecosistema, estudio caso: productos farmacéuticos en la cuenca del río Biobío, región del Biobío, Chile* desarrollado por Deyanira Henríquez Villa (2012) evaluó la probable presencia de fármacos en sistemas de tratamiento de agua para consumo humano y en sistemas de tratamiento de aguas servidas, tanto a la entrada como a la salida de los mismos. Como resultado se demostró que estos compuestos se encuentran en las aguas servidas.

De igual manera, se han estudiado la presencia de fármacos en aguas residuales, tal es el caso de la investigación denominada *Estudio de la eliminación de Diclofenaco en aguas residuales mediante fotocátalisis heterogénea con TiO<sub>2</sub>* realizada por Natalia Hernando Ortega (2017), que tuvo por objeto degradar la presencia de Diclofenaco presente en aguas residuales a través de la construcción y operación de un fotorreactor en el que se lleve a cabo el proceso de fotocátalisis heterogénea, empleando radiación ultravioleta y un catalizador de TiO<sub>2</sub>.

Al respecto, cabe mencionar que la *Directiva Marco del Agua* (Directiva 2000/60/EC) tiene como objetivos prevenir el deterioro y mejorar el estado de los ecosistemas acuáticos y promover el uso sostenible del agua, estableciendo una

serie de tareas con un estricto calendario para su cumplimiento, que repercute en todos los aspectos de la gestión de las aguas, estableciendo una lista de sustancias prioritarias que representan riesgos significativos, por lo que se busca su eliminación. En relación a ello, se estableció la Directiva 2013/39/UE que modifica a la Directiva 2000/60/EC, ampliando la lista de sustancias prioritarias a 45, de las cuales 21 están identificadas como peligrosas.

En ese sentido, se han llevado a cabo investigaciones para el tratamiento de este tipo de efluentes, tal es el caso de un proyecto basado en los fármacos presentes en efluentes hospitalarios realizado en el 2011 por la fundación TEKNIKER, donde se enfoca en la caracterización y detección de contaminantes orgánicos emergentes en las aguas residuales de los vertidos hospitalarios, para ello se analizaron las aguas residuales del Hospital de Galdakao que son vertidas a la red de saneamiento, llegando a una estación depuradora de aguas residuales de Galindo, en donde son sometidas a un tratamiento primario y biológico, seguido de una decantación secundaria. A esta planta de tratamiento, se le ha implementado un Proceso de Oxidación Avanzada, ya que los procesos anteriormente mencionados no son suficientes para la degradación de estos compuestos. La parte experimental constituyó en la toma de muestras tanto del hospital como de la estación depuradora, analizándose una variedad de parámetros y detectando un compuesto de concentración elevada cuyo origen proviene del vertido hospitalario.

Entre los procesos de oxidación avanzada, se ha estudiado el empleo de la Fotocatálisis Heterogénea como alternativa para el tratamiento de aguas residuales, tal es el caso del estudio *Aplicación de la fotocatalisis heterogéneas solar para la degradación de residuos farmacéuticos en efluente líquidos* de Juan Cohen Rodriguez (2012), en el cual, se empleó la fotocatalisis heterogénea solar con  $\text{TiO}_2$  (catalizador), en un reactor colector parabólico compuesto, para degradar acetaminofén, albendazol y dicloxacilina. Asimismo, se analizó la influencia del pH inicial y la concentración de catalizador en la degradación de cada fármaco, empleándose niveles de radiación.

## 2.2. Bases Teóricas

### 2.2.1. Contaminantes Emergentes en el ambiente

Estudios han demostrado la presencia de Contaminantes Emergentes en el ambiente, ocasionando impactos negativos debido a diversas fuentes contaminantes como las descargas de efluentes a ríos provenientes de plantas de tratamiento del tipo domésticas e industriales; así como, de descarga a través de pozos y manantiales; y, de lixiviados de rellenos sanitarios hacia los ríos. Asimismo, dichos estudios señalan que en el año 1976, se reportó la presencia de fármacos en agua residual tratada en un rango de concentración de 0.8 a 2 µg/L. Cabe precisar que en 1990, se detectaron fármacos con mayor frecuencia (Avilés et al., 2015).

Tabla 1. Presencia de fármacos en agua potable, superficial y residual

País	Tipo de agua	Contaminante emergente	Concentración (ng/L)
Alemania	Agua superficial	Gemfibrizil	52
		Ácido clofíbrico	66
		Diclofenaco	150
		Ibuprofeno	70
		Ácido Salicílico	25
Brasil	Agua de grifo	Ácido clofíbrico	165 - 270
		Diclofenaco	800
Brasil	Agua residual	Ketoprofeno	500
		Naproxeno	600
		Ácido clofíbrico	15
Canadá	Agua superficial	Diclofenaco	26
		Ibuprofeno	64
		Ketoprofeno	12
		Naproxeno	94
		España	Agua residual
Naproxeno	1800 - 4600		
Estados Unidos	Agua potable	Ibuprofeno	1000
Finlandia	Agua potable	Ibuprofeno	13100
		Naproxeno	4900
		Ketoprofeno	2000
Holanda	Agua potable	Ibuprofeno	23

Fuente: Adaptado de Avilés et al. (2015)

Es importante mencionar que el ibuprofeno no se metaboliza completamente por lo seres humanos, llegando al sistema de aguas residuales como compuesto original y sus metabolitos, teniendo una alta movilidad en el ambiente acuático. Cabe indicar que aunque el ibuprofeno se encuentre en concentraciones muy bajas, su toxicidad ha ocasionado la alteración en la reproducción de vertebrados e invertebrados. Entre los estudios realizados respecto a la toxicidad de este fármaco demuestran la mortalidad de especies al estar en contacto por un periodo de exposición conforme se muestra en la siguiente tabla (Santibañez, 2014).

Tabla 2. Toxicidad de ibuprofeno

Organismo	Prueba
<b>Daphnia magna (crustáceo)</b>	CL <sub>50</sub> (48h) = 9.06 mg/L
<b>S costatum (alga)</b>	CL <sub>50</sub> (96h) = 7.1 mg/L
<b>L macrochirus (pez)</b>	CL <sub>50</sub> (96h) = 10 mg/L
<b>V fischeri (bacteria)</b>	CL <sub>50</sub> (15min) = 12.1 mg/L
<b>C mrigala (pez)</b>	CL <sub>50</sub> (24h) = 142 mg/L

Fuente: Adaptado de Santibañez (2014)

La clasificación de estos contaminantes emergentes se realizan de acuerdo a su origen y naturaleza química, conforme se menciona a continuación (Duna, 2015):

- Retardantes de llama bromados (BFRs)
- Parafinas cloradas
- Pesticidas polares
- Compuestos perfluorados
- Drogas
- Fármacos y productos de higiene personal

La presencia de fármacos en el medio ambiente es relativamente reciente, y no se tiene aún datos suficientes para una valoración apropiada de su impacto. Además, muchos de ellos, como los retardantes de llama bromados, los detergentes de tipo alquilfenol etoxilado y algunos fármacos, son disruptores endocrinos, lo que implica que una exposición a los mismos puede alterar el

crecimiento, desarrollo, reproducción y comportamiento de los organismos vivos, de las que una de las más alarmantes y mejor documentadas es la feminización en organismos acuáticos superiores (Barceló & López de Alda, 2008).

En relación a los fármacos de mayor consumo se encuentra el ibuprofeno debido a que es un medicamento ampliamente usado como antiinflamatorio y antipirético para tratar migrañas, fiebre, artritis y dolores musculares y de dientes. Asimismo, el ibuprofeno pertenece al grupo de antiinflamatorios no esteroideos, cuyas propiedades básicas son las siguientes (Acevedo, 2015) (Correia de Soto, 2018):

Tabla 3. Propiedades básicas del Ibuprofeno

<b>Fórmula</b>	C <sub>13</sub> H <sub>18</sub> O <sub>2</sub>
<b>Peso molecular</b>	206,3 g/mol
<b>Nombre</b>	2-(4-isobutilfenil)propiónico
<b>Punto de fusión</b>	75 – 77 °C
<b>Solubilidad en agua</b>	0,021 mg/mL (a 25 °C)
<b>Constante de disociación (pK<sub>a</sub>)</b>	4,9
<b>Longitud de onda</b>	220 nm (pico máximo de absorbancia)

**Fuente:** Adaptado de Acevedo (2015) y Correia de Soto (2018)

A continuación se presenta su estructura molecular:

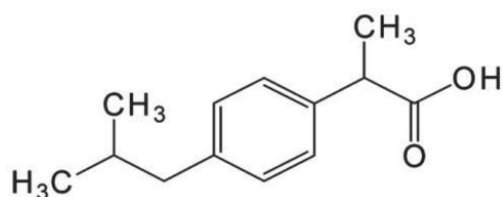


Figura 1. Estructura molecular del Ibuprofeno

**Fuente:** Tomado de Acevedo (2015)

Cabe precisar que solo del 1 al 8% del ibuprofeno es emitido sin modificaciones y un 14 % en glucorónidos, encontrándose en los afluentes de plantas de tratamiento de drenaje como uno de los contaminantes farmacéuticos

más importantes. Se ha reportado que las plantas de tratamiento degradan en un 90% al ibuprofeno, la cantidad del mismo permanece en alta concentración en los efluentes de dichas plantas de tratamiento. Asimismo, se señala que el ibuprofeno es sensible a la oxidación y fotodegradación, determinándose 13 productos, de los cuales 7 de los descritos a continuación han sido reportados (Santibañez, 2014).

**Tabla 4.** Productos de degradación del Ibuprofeno

Nº	Nombre de los productos
1.	Ácido hidratrópico
2.	4-etilbenzaldehido
3.	Ácido 4-(1-carboxietil)benzoico
4.	1-(4-isobutilfenil)-1-etanol
5.	Ácido 2-[4-(1hidroxi-2-metilpropil)fenil]propanoico
6.	1-isobutil-4-vinilbenceno
7.	4-isobutilfenol

Fuente: Adaptado de Santibañez (2014)

### 2.2.2. Determinación de contaminantes emergentes presentes en aguas

Diversas investigaciones han empleado diferentes metodologías para la identificación y cuantificación de contaminantes emergentes presentes en cuerpos de agua, aguas residuales, e incluso en suelos, por lo que a continuación, se describe las metodologías usadas con mayor frecuencia.

- **Cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS)**

Esta técnica permite la separación y la identificación de mezclas complejas, como es el caso de la investigación Nuevas tecnologías para el análisis de contaminantes emergentes, donde primero se realiza la extracción de la muestra para su posterior análisis mediante desorción térmica y cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas, es en este último método que se realiza un primer pinchazo para la obtención del espectro de masas para conocer el tiempo

de retención y iones mayoritarios del compuestos; el segundo pinchazo es para saber las transiciones que genera el ion mayoritario obtenido previamente (Duna, 2015).

- **Cromatografía líquida acoplada a espectrometría de masas (LC-MS)**

Este tipo de método es adecuado para la cuantificación de contaminantes que son más polares y muy solubles en agua, por lo que se inicia con la detección de contaminantes emergentes mediante un análisis cualitativo para identificar la presencia de fármacos, tal es el caso, del estudio *Métodos analíticos para determinación de compuestos emergentes en agua*, en el cual, se evaluó la presencia de 15 contaminantes emergentes, preferentemente fármacos en agua de ríos y efluente de una planta de tratamiento de agua residual, mediante una técnica de cromatografía líquida acoplada a un detector de masas de triple cuadrupolo, determinándose que la presencia de atenolol (6,75 – 9,10 ng/L); sulfametaxazol (87 – 136 ng/L); propanolol (2,85 – 6,25 ng/L); y, naproxeno (1,45 – 1,86 ng/L) en el efluente de la planta de tratamiento (Avilés et al., 2015).

De igual manera, en el agua de río se encontraron los fármacos siguientes: metoprolol (0,6 – 7,2 ng/mL); y, sulfametoxazol (3 – 204,5 ng/mL), siendo este último de mayor concentración (Avilés et al., 2015).

- **Cromatografía de líquidos de alta resolución (HPLC)**

Técnica utilizada para llevar a cabo la separación y posterior determinación de principios activos farmacológicos en muestras ambientales (Santibañez, 2014).

En la investigación *Estudio de la fotocátalisis heterogénea solar para tratar un efluente contaminado con productos farmacéuticos: ibuprofeno, diclofenaco y sulfametoxazol*, se analizaron soluciones estándar de los medicamentos mencionados para medir la absorbancia de cada una de ellas registrándose en el intervalo de 190 a 300 nm. Con ello, se preparó una mezcla con los estándares de los tres medicamentos, realizándose pruebas en el HPLC con fases móviles de metanol y acetonitrilo con la longitud de onda determinada anteriormente

(Acevedo, 2015).

Al respecto, en dicha investigación se identificó el tiempo de retención de cada uno de los medicamentos, efectuándose tres corridas de cada solución de medicamento puro para el registro del tiempo de retención. Asimismo, se obtuvieron las curvas de calibración de las diluciones diferentes de la mezcla de estándares preparada. Se determinó los valores de área de los tres medicamentos para el registro de las concentraciones de las diluciones, con estos datos se construyó la curva de área de respuesta del equipo HPLC en función de la concentración, obteniéndose la línea de tendencia (Acevedo, 2015).

- **Cromatografía en capa fina**

El estudio *Development and validation of analysis method for tablet ibuprofen by thin layer chromatography-densitometry* desarrolla y valida un método de densitometría simple, selectiva y precisa de cromatografía en capa fina (TLC) para el análisis de ibuprofeno en preparaciones farmacéuticas, para lo cual el ensayo de ibuprofeno se realizó mediante densimetría TLC usando placas de gel de sílice 60 F254 como fase estacionaria y una mezcla de cloroformo:metanol como fase móvil (Rivai, 2016).

Para el análisis cualitativo, se marcó una línea de 1 cm desde el borde inferior y 1 cm desde la parte superior de la placa de TLC. Se realizó la siembra por 5  $\mu$ L con 3 puntos en la línea de inicio con una distancia de cada 1 cm de la solución estándar, que tiene una concentración de 4 mg/ml o 4000 ppm, posterior a ello la placa se insertó en la cámara saturada con fase móvil, permaneciendo allí hasta llegar a la línea superior. Se abrió la cámara, para extraer la placa de TLC y se secó al viento, luego se determinó el valor de Rf (Rivai, 2016).

Para el análisis cuantitativo, se realizaron los procedimientos anteriormente descritos. En este caso, se observó el manchado de la placa bajo lámparas UV de



254 nm. Luego se escanearon las manchas con las herramientas Camag TLC Scanner 4 con una longitud de onda de 222 nm para obtener el área de datos bajo la curva del compuesto de prueba. Con el área se determinó la ecuación de regresión y luego se obtuvo la concentración del compuesto (Rivai, 2016).

La solución estándar de ibuprofeno en el rango de 2-10 mg/ml dio como resultado una ecuación de regresión  $y = 14293.868 + 4201.72x$  con  $r = 0.9973$ . El límite de detección de ibuprofeno fue de 0,88 mg/ml y el límite de cuantificación de ibuprofeno fue de 2,70 mg/ml (Rivai, 2016).

- **Espectrofotometría Ultravioleta-Visible (UV-Visible)**

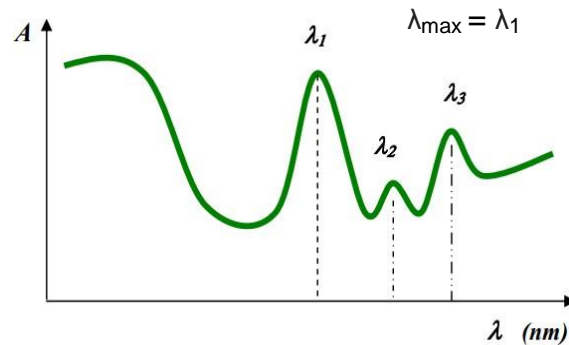
Utilizado de manera cuantitativa para determinar pequeñas cantidades de medicamentos, basándose en la relación entre la absorción de luz por parte de un compuesto y su concentración. Al incidir luz monocromática; es decir, de una sola onda sobre un medio homogéneo, una parte de la luz incidente es absorbida por el medio y otra transmitida como consecuencia de la intensidad del rayo de luz (Docsity, 2018).

El espectro de absorción de una sustancia o compuesto es una curva que muestra la cantidad de energía radiante absorbida, conocida como absorbancia (A o Abs), a una determinada longitud de onda de la energía radiante expresada en nanómetros (nm) (Docsity, 2018).

Las leyes de Lambert y Beer son leyes fundamentales que rigen el método espectrofotométrico, el primero está en función del espesor del medio y el segundo en función de la concentración de la sustancia absorbente (Docsity, 2018).

La longitud de onda, en la cual la absorbancia de la sustancia a analizar es máxima recibe el nombre de Lambda máxima ( $\lambda_{max}$ ), por lo que para su selección se realiza un espectro de absorción o curva espectral que consiste en una gráfica de la absorbancia de una solución de la sustancia absorbente a una concentración adecuada, medida a distintas longitudes de onda para determinar

el  $\lambda_{\max}$  (Docsity, 2018).

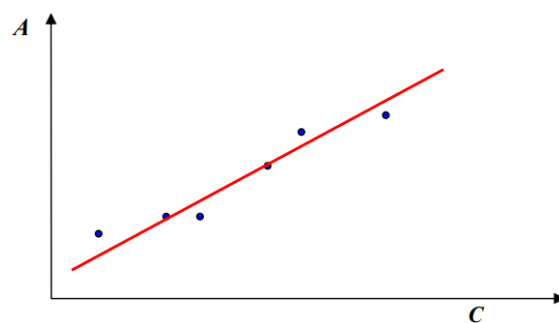


**Figura 2.** Curva espectral

**Fuente:** Tomado de Docsity (2018)

Para el caso de sustancias no coloreadas, las mediciones se realizan en la región ultravioleta del espectro electromagnético de 200 a 380 nm (Docsity, 2018).

La **curva de calibración** determina la concentración de una muestra problema relacionando la absorbancia con la longitud de onda máxima (Docsity, 2018).



**Figura 3.** Curva de calibración

**Fuente:** Tomado de Docsity (2018)

A partir de esta gráfica, se determina la función matemática que presenta dicha recta, mediante el tratamiento estadístico de regresión de los mínimos cuadrado, la cual relaciona la absorbancia y la concentración de una sustancia, como se observa en la ecuación siguiente (Docsity, 2018):

$$A = mc + n$$

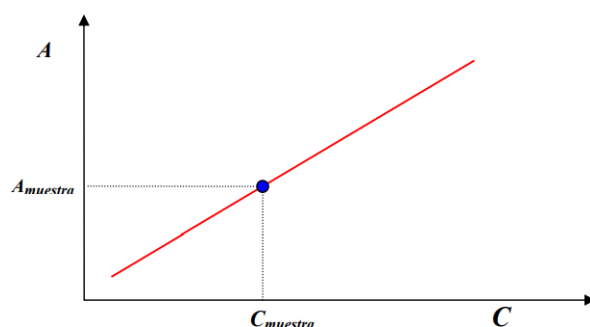
Donde:

**A:** Absorbancia

**m = ab:** Pendiente de la recta

**n:** Intercepto de la recta

Con esta fórmula, se mide la absorbancia de la solución problema y se interpola su valor en la gráfica o se reemplaza en la ecuación con fines de obtener la concentración (Docsity, 2018).

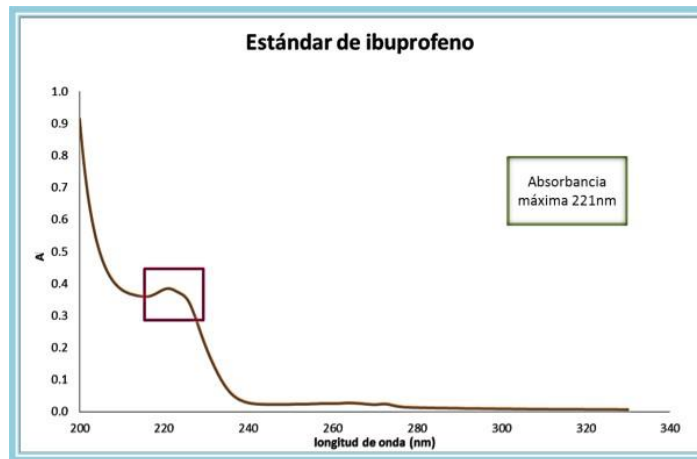


**Figura 4.** Interpolación gráfica

**Fuente:** Tomado de Docsity (2018)

Cabe precisar que la medición de la absorbancia de la solución debe hacerse a la misma longitud de onda que fue hecha la curva de calibración (Docsity, 2018).

El estudio *Determinación de la cinética de degradación de Diclofenaco, ibuprofeno y su mezcla, a temperatura ambiente* realiza la apariencia e identidad del ibuprofeno por espectrometría UV-Visible, presentando una banda de absorción a 221 nm, conforme se muestra en la figura siguiente (Santibañez, 2014):



**Figura 5.** Espectro de luz UV-VIS de estándar de ibuprofeno  
**Fuente:** Tomado de Santibañez (2014)

### 2.2.3. Tratamiento de aguas residuales

Existen diversas tecnologías para el tratamiento de los productos farmacéuticos en aguas residuales; sin embargo, un tratamiento terciario o avanzado nos garantizará la obtención de un efluente de calidad que no cause daños a las personas y no impacte negativamente al ambiente.

La aplicación de un método u otro depende fundamentalmente de la concentración del contaminante y del caudal del efluente para lo cual se establece la siguiente clasificación:

- Tratamientos convencionales

Son fundamentales para mantener nuestra calidad de vida, aplicándose técnicas con larga tradición y que con el pasar de los años, se ha ido mejorando su diseño. Su clasificación está ligada a la presencia de contaminantes en el agua como materia en suspensión, materia coloidal o materia disuelta (Rodríguez et al., 2006).

Para la materia, en su mayoría inorgánicas en suspensión, son las partículas de varios centímetros y muy densas, y suspensiones coloidales muy estables y con tamaños de partícula de hasta unos pocos nanómetros. Entre las operaciones

unitarias con mayor empleo tenemos (Rodríguez et al., 2006):

- Desbaste
- Sedimentación
- Filtración
- Flotación
- Coagulación – floculación

Para la materia disuelta destacan las siguientes operaciones unitarias (Rodríguez et al., 2006):

- Precipitación
- Procesos electroquímicos
- Intercambio iónico
- Adsorción
- Desinfección

En cuanto a los tratamientos biológicos en la que destacan las bacterias para llevar a cabo la eliminación de componentes no deseados en el agua, llevándose a cabo los siguientes procesos (Rodríguez et al., 2006):

- Procesos biológicos aerobios
- Procesos biológicos anaerobios
  
- Tratamientos avanzados

En este punto tenemos a los llamados Procesos de Oxidación Avanzada que generan especies fuertemente oxidantes como el proceso Fotofenton de Oxidación Química realizado en el estudio “Proceso Fotofenton de Oxidación Química para el tratamiento de aguas industriales” (Acosta, 2009).

Los Procesos de Oxidación Avanzada son aquellos aplicados a la degradación de compuestos contaminantes presentes en el agua, así como también en el aire y suelo, basado en la presencia y reactividad del radical

hidroxilo en condiciones normales, súper o subcríticas de presión y temperatura con o sin catalizador y/o energía química reactiva (Santibáñez, 2014).

Estos procesos sirven para tratar contaminantes a muy baja concentración y se usan para disminuir la toxicidad de los efluentes (Hernando, 2017).

- Integración de procesos

La finalidad de integrar procesos es aumentar la eficiencia en los tratamientos mediante la integración de la fotocatalisis heterogénea con otros procesos, ya sean físicos, químicos o biológicos, logrando una disminución del tiempo de reacción en comparación con los procesos separados. Las combinaciones de procesos se han dado entre fotocatalisis heterogénea y procesos Fotofenton o la Ozonización.

#### **2.2.4. Fotocatálisis heterogénea**

Proceso basado en la absorción directa o indirecta de energía radiante (visible o ultravioleta) por un sólido (el fotocatalizador heterogéneo, que normalmente es un semiconductor de banda ancha) (Ardila & Zárate, 2009). Cabe precisar que en la superficie del catalizador, tienen lugar las reacciones de oxidación, destrucción o de remoción de los contaminantes, sin que el catalizador sufra cambios químicos (Moreno, 2005).

La catálisis solar es un proceso promovido por energía de determinada longitud de onda, capaz de excitar a un fotocatalizador a tal grado de hacer que se comporte como un material conductor, en el cual se desarrollan reacciones oxido-reducción, generando radicales libres muy reactivos, que reaccionarán con especies a su alrededor, logrando reducirlas u oxidarlas, hasta convertirlas en especies menos complejas. La radiación ultravioleta, es la energía que activa el proceso de fotocatalisis solar usando dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ) (Moreno, 2005).

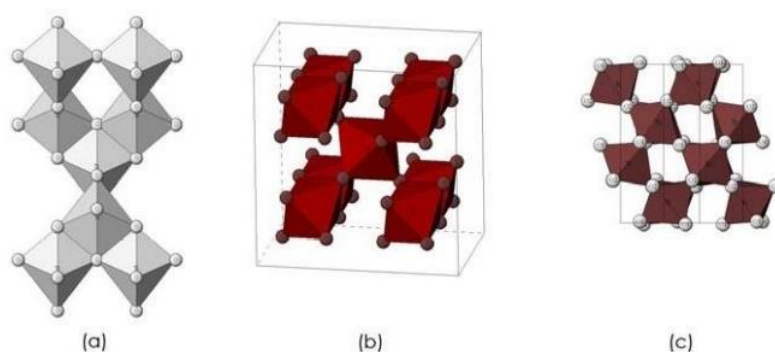
- Parámetros que influyen en el proceso, son los descritos a continuación:  
(Hernando, 2017)

- ✓ Masa del catalizador
- ✓ Longitud de onda
- ✓ Concentración del contaminante
- ✓ Temperatura
- ✓ Flujo radiante
- ✓ pH
- ✓ Oxígeno
- ✓ Radiación
- ✓ Distribución espectral
- ✓ Intensidad de radiación

- Dióxido de Titanio (TiO<sub>2</sub>)

Existen varios semiconductores como el Óxido de Zinc (ZnO), Dióxido de Zirconio (ZrO<sub>2</sub>), Dióxido de Estaño (SnO<sub>2</sub>), Sulfuro de Cadmio (CdS), etc., que han sido empleados en la degradación fotocatalítica de compuestos orgánicos; sin embargo, el semiconductor que ha recibido mayor interés es el TiO<sub>2</sub>, puesto que presenta ventajas deseables, tiene un costo moderado o bajo dado que lo podemos encontrar de manera abundante en la corteza terrestre. La utilidad de este elemento se da en productos como pigmentos, protecciones solares, pinturas, etc., (Carbajo, 2013).

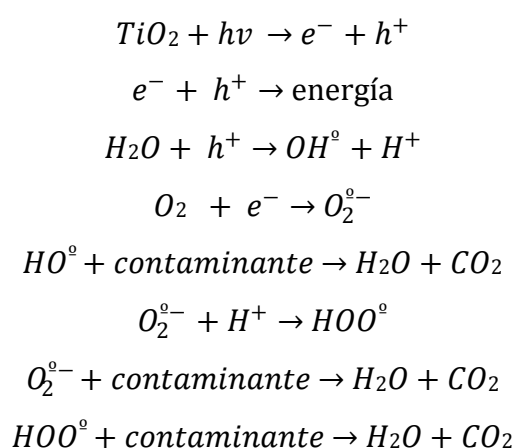
En todas sus formas, el átomo de titanio (Ti<sup>4+</sup>) se encuentra coordinado con seis átomos de oxígeno (O<sup>2-</sup>), formando el octaedro TiO<sub>6</sub>. En la anatasa los octaedros comparten esquinas y vértices, dando una estructura tetragonal, en el rutilo el octaedro comparte cantos, dando estructuras tetragonales y en la brookita se comparten ambos, cantos y esquinas para dar una estructura ortorrómbica. La estructura mencionada se muestran en la figura siguiente (Hernando, 2017):



**Figura 6.** Estructuras cristalinas del TiO<sub>2</sub>, (a) Anatasa, (b) Rutilo, (c) Brookita

**Fuente:** Tomado de Hernando (2017)

La partícula de TiO<sub>2</sub> es irradiada, en muchos casos, con energía que presenta una longitud de onda menor a 400 nm, provocando la formación de par electrón/hueco (e<sup>-</sup>/h<sup>+</sup>) que migra hacia la superficies; es decir, desde la capa de valencia a la banda de conducción. El electrón es atrapado por el oxígeno generando el radical superóxido, mientras que el hueco es atrapado por el grupo OH<sup>o</sup>, generando el radical hidroxilo, siendo estos últimos altamente reactivos frente a la mayoría de compuestos orgánicos e inorgánicos, teniendo como resultados la formación de productos finales como el CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O. Entre las principales reacciones durante el proceso de fotocatalisis heterogénea son las siguientes (Hernando, 2017):





### 2.2.5. Normativa para las aguas residuales

En el marco europeo, se han establecido Directivas que plantean medidas para asegurar la gestión sostenible del agua, en favor de la regeneración y utilización de aguas residuales en una mayor escala, con fines de que aumente el suministro de agua y disminuya el impacto de las actividades humanas en el ambiente (Hernando, 2017).

Al respecto, la Directiva 2000/60/EC establece un marco legal para la protección de aguas subterráneas, superficiales, costeras y de estuarios. Asimismo, en la Directiva 2455/2001/EC se fijó un listado de sustancias prioritarias, en la cual se identificaron 33 sustancias o grupos de sustancias de gran preocupación debido a su uso y altas concentraciones en ríos, lagos y aguas costeras. Cabe precisar que la Comisión Europea aprobó la Directiva 2008/105/EC en la que se definen normas de calidad ambiental para las sustancias prioritarias y para otros contaminantes, conforme de detalla en el Anexo N° 01 y N° 02 (Sirtori, 2010).

En Estados Unidos de Norteamérica se establecieron dos iniciativas que regulan la presencia de fármacos en fuentes de agua para consumo humano (Henriquez, 2012), siendo las siguientes:

**Proposición 65 de California.** – Aprobada en 1986, publicando una lista de productos químicos conocidos por causar cáncer, defectos de nacimiento u otros daños de tipo reproductivos, que es actualizada al menos una vez al año. Asimismo, exige a las empresas que informen a la población la cantidad de químicos que poseen sus productos y cuánto de estos son descargados al ambiente. Esta iniciativa establece Niveles de Riesgo Significativo (NSRL) y Niveles de Dosis Máximos Aceptables (MADL). En Anexo N° 03, se detalla la lista de sustancias farmacológicas (Henriquez, 2012).

La segunda iniciativa ha sido impulsada por la USEPA, que prioriza contaminantes que requieren regulación, denominados Lista de Contaminantes

Candidatos en Agua para Consumo Humano, la cual se detalla a continuación (Henriquez, 2012):

Tabla 5. Listado de fármacos contenidos en la EPA

Sustancia	CAS	Uso
<b>17 <math>\alpha</math>-estradiol</b>	57-91-0	Estrógeno de uso farmacéutico
<b>Benzyl chloride</b>	100-44-7	Utilizado en la producción de otras sustancias tales como plásticos, lubricantes, gasolina y fármacos.
<b>Equilenina</b>	517-09-9	Estrógeno de uso farmacéutico.
<b>Equilin</b>	474-86-2	Estrógeno de uso farmacéutico.
<b>Eritromicina</b>	114-07-8	Se utiliza en formulaciones farmacéuticas como antibiótico.
<b>Estradiol (17-<math>\beta</math> estradiol)</b>	50-28-2	Estrógeno de uso farmacéutico.
<b>estriol</b>	50-27-1	Estrógeno de uso farmacéutico y veterinario.
<b>estrona</b>	53-16-7	Estrógeno de uso farmacéutico y veterinario.
<b>Etinil Estradiol (17-<math>\alpha</math> etinil estradiol)</b>	57-63-6	Estrógeno de uso farmacéutico humano y veterinario.
<b>Mestranol</b>	72-33-3	Estrógeno de uso farmacéutico humano y veterinario
<b>Nitrobenzene</b>	98-95-3	Utilizado en la producción de anilina, como solvente en la producción de pinturas, explosivos, pesticidas y drogas (tales como el acetaminofenol) entre otras.
<b>Nitroglycerin</b>	55-63-0	Utilizado en fármacos, producción de explosivos y propulsores de cohetes.
<b>Noretindrona (19-Noretisterona)</b>	68-22-4	Progesterona de uso farmacéutico.
<b>o-Toluidina</b>	95-53-4	Utilizada en la producción de sustancias tales como tinturas, gomas, fármacos y pesticidas.
<b>Quinolina</b>	91-22-5	Utilizada en la producción de sustancias tales como fármacos contra la malaria y como agente saborizante

Fuente: Tomado de Henriquez (2012)

Respecto a la normativa peruana, se han establecido parámetros de medición que garanticen la calidad de los recursos hídricos, siendo la normativa que a continuación se detalla:

- **Estándares de Calidad Ambiental (ECA)**

Mediante el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, se aprobó la última actualización de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua, los cuales están clasificados por categorías y subcategorías conforme a la siguiente tabla. Cabe precisar que los parámetros descritos corresponden a los compuestos orgánicos por ser los fármacos de la misma naturaleza; sin embargo, estos no están contemplados en la normativa peruana, tal como se puede observar en la tabla siguiente.

Tabla 6. Categoría 1: Poblacional Recreacional - Subcategoría A: Superficiales destinadas a la producción de agua potable

Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
<b>ORGÁNICOS</b>				
<b>Hidrocarburos Totales de Petróleo (C8 - C40)</b>	mg/L	0,01	0,2	1,0
<b>Trihalometanos</b>	( e )	1,0	1,0	1,0
<b>Bromoformo</b>	mg/L	0,1	**	**
<b>Cloroformo</b>	mg/L	0,3	**	**
<b>Dibromoclorometano</b>	mg/L	0,1	**	**
<b>Bromodiclorometano</b>	mg/L	0,06	**	**
<b><u>I. COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES</u></b>				
<b>1,1,1-Tricloroetano</b>	mg/L	0,2	0,2	**
<b>1,1-Dicloroetano</b>	mg/L	0,03	**	**
<b>1,2 Dicloroetano</b>	mg/L	0,03	0,03	**
<b>1,2 Diclorobenceno</b>	mg/L	1	**	**
<b>Hexaclorobutadieno</b>	mg/L	0,0006	0,0006	**
<b>Tetracloroetano</b>	mg/L	0,04	**	**
<b>Tetracloruro de carbono</b>	mg/L	0,004	0,004	**
<b>Tricloroetano</b>	mg/L	0,07	0,07	**
<b><u>BTEX</u></b>				
<b>Benceno</b>	mg/L	0,01	0,01	**
<b>Etilbenceno</b>	mg/L	0,3	0,3	**
<b>Tolueno</b>	mg/L	0,7	0,7	**
<b>Xilenos</b>	mg/L	0,5	0,5	**

<u>Hidrocarburos Aromáticos</u>				
<b>Benzo(a)pireno</b>	mg/L	0,0007	0,0007	**
<b>Pentaclorofenol (PCP)</b>	mg/L	0,009	0,009	**
<u>Organofosforados</u>				
<b>Malatión</b>	mg/L	0,19	0,0001	**
<u>Organoclorados</u>				
<b>Aldrín + Dieldrín</b>	mg/L	0,00003	0,00003	**
<b>Clordano</b>	mg/L	0,0002	0,0002	**
<b>Dicloro Difenil Tricloroetano (DDT)</b>	mg/L	0,001	0,001	**
<b>Endrin</b>	mg/L	0,0006	0,0006	**
<b>Heptacloro + Heptacloro Epóxido</b>	mg/L	0,00003	0,00003	**
<b>Lindano</b>	mg/L	0,002	0,002	**
<u>Carbamato</u>				
<b>Aldicarb</b>	mg/L	0,01	0,01	**
<u>II. CIANOTOXINAS</u>				
<b>Microcistina-LR</b>	mg/L	0,001	0,001	**
<u>III. BIFENILOS POLICLORADOS</u>				
<b>Bifenilos Policlorados (PCB)</b>	mg/L	0,0005	0,0005	**

Fuente: Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM

- **Límites Máximos Permisibles (LMP)**

Con Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, se aprueba los Límites Máximos Permisibles para efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (PTAR), el cual establece la medición de la concentración de los parámetros siguientes:

Tabla 7. Límites Máximos Permisibles para los Efluentes de PTAR

PARÁMETRO	UNIDAD	LMP DE EFLUENTES PARA VERTIDOS A CUERPOS DE AGUAS
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	10000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	Unidad	6.5 – 8.5
Sólidos Totales en Suspensión	mL/L	150
Temperatura	°C	<35

Fuente: Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM

- **Valores Máximos Admisibles (VMA)**

En el 2019, mediante Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA, se aprueba el Reglamento de Valores Máximos Admisibles para la descarga de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario, el cual en su Título III precisa los valores establecidos que no deben excederse.

Tabla 8. Anexo N° 1 – Valores Máximos Admisibles

PARÁMETROS	UNIDAD	SIMBOLOGÍA	VMA PARA DESCARGAS AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	DBO	500
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	DQO	1000
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	SST	500
Aceites y Grasas	mg/l	A y G	100

Fuente: Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA

## 2.3. Definición de términos básicos

- **Aguas residuales**

Las aguas residuales se consideran como una combinación de uno o más de los siguientes: efluentes domésticos que consisten en aguas negras (excremento, orina y lodos fecales) y aguas grises (aguas servidas de lavado y baño); agua de establecimientos comerciales e instituciones, incluidos hospitales; efluentes industriales, aguas pluviales y otras escorrentías urbanas; y escorrentías agrícola, hortícola y acuícola (Rodríguez et al., 2006).

Asimismo, las aguas residuales domésticas son aquellas procedentes de zonas de viviendas y de servicios generadas principalmente por el metabolismo humano y las actividades domésticas (Directiva 91/271/CEE, 1991).

- **Planta de Tratamiento de Aguas Residuales**

Infraestructura y procesos que permiten la depuración de las aguas residuales domésticas y no municipales (Decreto Supremo Nº 003-2010-MINAM "Aprueba Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales", 2010).

- **Contaminantes emergentes**

Compuestos de diverso origen y naturaleza química presentes en bajas concentraciones -de  $\text{ngL}^{-1}$  a  $\mu\text{gL}^{-1}$ - considerados perjudiciales para la salud humana y el ambiente, puesto que pueden causar diversos efectos en los organismos, como toxicidad crónica, disrupción endocrina y bioacumulación. Son denominados emergentes por su escasa regulación normativa. Estas clasificados en seis grupos: retardantes de llama bromados, parafinas cloradas, pesticidas polares, compuestos perfluorados, fármacos y productos de higiene personal y drogas (Patiño et al., 2014).

- **Productos farmacéuticos**

Los productos farmacéuticos y sus subproductos (metabolitos) son considerados contaminantes emergentes, sustancias altamente solubles en agua, que se liberan al medio ambiente vía excreción, ya sea metabolizados o no metabolizados, por vertido de los productos no utilizados o caducados, o bien procedentes, como residuos, de los procesos de producción, por lo que pueden estar presentes en todas las etapas de un ciclo de vida del agua puntual y referido a su uso. Estos son constantemente utilizados y vertidos, cabe mencionar que, los sistemas de tratamiento convencionales de agua potable y de aguas servidas muchas veces no son capaces de eliminarlos, dado que su concentración aumenta en el ecosistema, por lo que se requiere de nuevos sistemas de tratamiento para que sean eliminados (Henriquez, 2012).

- **Ibuprofeno**

Fármaco perteneciente a los antiinflamatorios no esteroideos (AINE) que tienen efecto gracias a la inhibición de la enzima ciclooxigenasa. Es frecuentemente utilizado como antipirético y para combatir el dolor de algunas partes del organismo (Azagra et al., 2015).

- **Fotocatálisis Heterogénea**

Proceso eficiente para el tratamiento de contaminantes orgánicos en agua. Consiste en generar radicales hidroxilo, utilizando radiación UV y un catalizador.

## **CAPÍTULO III**

### **DESARROLLO DEL TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

#### **3.1. Modelo de solución propuesto**

La presente investigación es un tipo de investigación aplicada ya que emplea los conocimientos teóricos en base a investigaciones anteriores respecto a la problemática que se quiere solucionar debido a sus consecuencias que se generan. Asimismo, la investigación desarrollada contempla un diseño de investigación experimental ya que se realiza la simulación del efluente contaminado para luego ser tratado mediante fotocatalisis heterogénea. Posterior a este tratamiento, se realizó la cuantificación de la concentración final del contaminante emergente.

A continuación, se detalla los procedimientos efectuados:





**Figura 7.** Flujo procedimental

**Fuente:** Elaboración propia

### Preparación de muestras

En el laboratorio de Físicoquímica de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, se realizó la preparación de tres muestras patrón con el estándar de ibuprofeno ( $S_{Ibu}$ ) a diferentes concentraciones: 2 mg/L; 4 mg/L; y, 6 mg/L, las cuales fueron diluidas por separado en 10 mL de etanol, por ser de característica insoluble en agua y posteriormente fueron filtradas.

Asimismo, se simuló tres efluentes a concentraciones diferentes del contaminante emergente, en este caso, el ibuprofeno en pastilla molida, dichas concentraciones fueron las mismas cantidades de las muestras preparadas con el estándar de ibuprofeno (2 mg/L; 4 mg/L; y, 6mg/L), con fines de lograr su identificación y comparar la reducción de concentración con el estándar de ibuprofeno. Cabe precisar que estas concentraciones también fueron diluidas en etanol con fines de separar los excipientes que contienen las pastillas.

Para ello, se utilizaron los materiales siguientes:

- Estándar de ibuprofeno 99.9 % de pureza
- Pastillas de ibuprofeno de 400 mg
- Alcohol etílico absoluto puro (etanol)
- Vasos precipitados
- Mortero
- Luna de reloj
- Bagueta
- Embudo
- Papel filtro
- Balanza analítica
- Lápiz y regla

### **Sistema de tratamiento**

Para el tratamiento de los efluentes preparados con concentraciones diferentes de ibuprofeno, se utilizó el sistema de Fotocatálisis Heterogénea, instalado en el laboratorio de Fisicoquímica de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur. Cabe precisar que este sistema fue proporcionado por el Ing. Agérico Pantoja Cadillo, quien viene realizando trabajos de fotodegradación.

El Sistema de tratamiento donde se realizó la Fotocatálisis Heterogénea consistió de los materiales y equipos siguientes:

- 02 reactores con lámparas UV de 254nm
- Líneas de entrada y salida del flujo
- Líneas de regulación del flujo
- Cubeta para el efluente
- Soporte de fierro para colocar los reactores y cubeta
- Bomba

- Ventilador pequeño
- Medidor de pH
- Cronómetro
- Dióxido de Titanio (TiO<sub>2</sub>)



**Figura 8.** Sistema de tratamiento

Con el equipo instalado, se procedió a realizar el tratamiento de las muestras preparadas en dos momentos:

1. La muestra preparada con el estándar de ibuprofeno fue incorporada a la cubeta que contenía 1 L de agua. Asimismo, se adicionó una concentración de TiO<sub>2</sub> de 0.5 mg/L.

En esta experimentación se dejó que la muestra reaccione con la presencia de la radiación ultravioleta durante 10 minutos a un pH = 3.5. Posterior al tratamiento, se tomó muestra de cada una de ellas.

*Tabla 9.* Muestra con estándar de ibuprofeno

C <sub>SIBU</sub> (mg/L)	C <sub>TiO2</sub> (mg/L)	pH	Tiempo de exposición (min)
2	0.5	3.5	10
4			
6			

**Fuente:** Elaboración propia

2. La muestra preparada con la pastilla de ibuprofeno fue incorporada a la cubeta que contenía 1 L de agua., en el cual se adicionó una concentración de  $\text{TiO}_2$  de 0.5 mg/L.

En esta experimentación se dejó que la muestra reaccione con la presencia de la radiación ultravioleta durante 10 minutos a un  $\text{pH} = 3.5$ . Posterior al tratamiento, se tomó muestra de cada una de ellas.

*Tabla 10. Muestra con pastilla de ibuprofeno*

$C_{\text{SIBU}}$ (mg/L)	$C_{\text{TiO}_2}$ (mg/L)	pH	Tiempo de exposición (min)
2	0.5	3.5	10
4			
6			

Fuente: Elaboración propia

### **Aplicación de la Cromatografía en Capa Fina y Espectrofotometría UV-Visible**

Las muestras sometidas al tratamiento de Fotocatálisis Heterogénea fueron analizadas por el método de cromatografía en capa fina y espectrofotometría con UV visible.

Para la identificación del ibuprofeno, se realizó los procedimientos siguientes:

1. Se vertió 30 mL de acetato de etilo, como solvente, en la cámara cromatográfica.
2. En una placa aluminizada de 6 cm x 20 cm, se efectuó la siembra de la muestra tratada con el estándar de ibuprofeno por un número 10 siembras de un 1  $\mu\text{L}$ , en un espacio de 1 cm.
3. En esa misma placa aluminizada, se realizó la siembra de la muestra tratada que contiene la concentración de la pastilla de ibuprofeno por un número de 20 siembras de un 1  $\mu\text{L}$ , en un espacio de 1 cm.
4. Realizadas las siembras correspondientes, se colocó la placa aluminizada en la cámara cromatográfica previamente saturada con el acetato de etilo.

Ver Imagen N° 10: del Anexo N° 04.

5. Se tomó el tiempo requerido para que ascienda el solvente a lo largo de la placa por capilaridad hasta llegar a un 75% de la distancia total de la placa.
6. Pasado dicho tiempo, se colocó la placa aluminizada en la estufa para el secado rápido, posterior a ello se puso la placa en la cámara de extracción, donde se esparció el permanganato de potasio a lo largo de la placa, como revelador cromatográfico con fines de identificar el ibuprofeno.
7. Se marcó el punto medio del desplazamiento de la concentración del ibuprofeno, con ello se procedió a calcular el factor de referencia (Rf) de la siguiente manera:

$$Rf = \frac{X}{Y}$$

Dónde:

X: Distancia desde el punto de aplicación hasta el punto medio.

Y: Distancia desde el punto de aplicación hasta la línea del frente del solvente.

Los materiales y equipos utilizados fueron los siguientes:

- Placas aluminizadas con recubrimiento de Silica Gel F254
- Acetato de Etilo
- Microcapilares de 1 µL
- Cámara para la cromatografía en capa fina
- Permanganato de potasio
- Tijera

Para la cuantificación de la concentración de ibuprofeno posterior al tratamiento de Fotocatálisis Heterogénea, se llevaron a cabo los pasos siguientes:

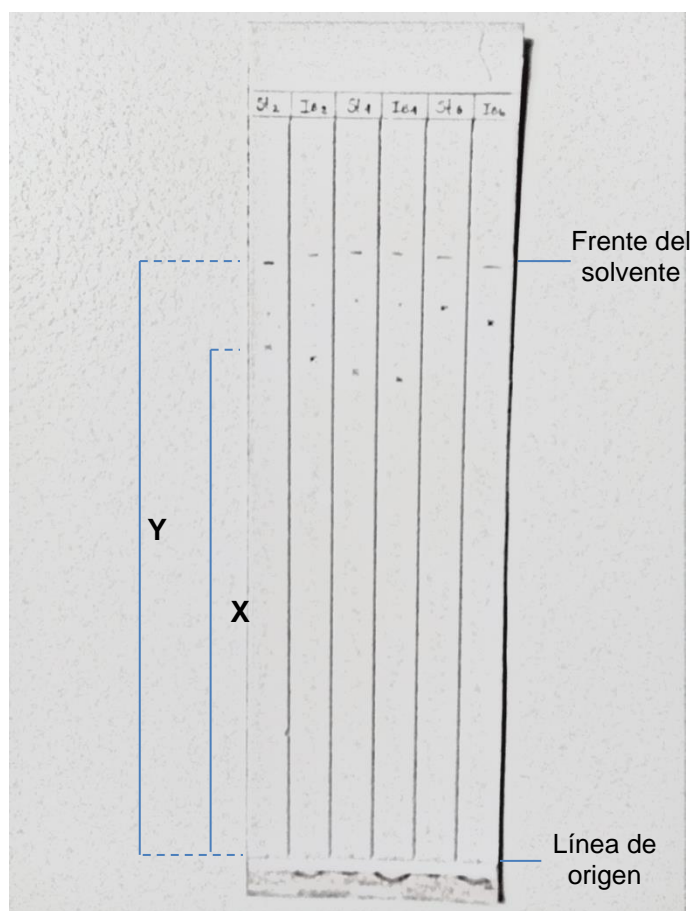
1. En una segunda placa aluminizada, se realizó los mismos pasos del 1 al 5 descritos anteriormente.

2. Se retiró la placa aluminizada de la cámara cromatográfica, la cual fue colocada en la estufa para su secado. Posterior a ello, se procedió a visualizar el desplazamiento del ibuprofeno en la lámpara UV con carcasa. Ver Imagen N° 14 del Anexo N° 04.
3. Identificado el desplazamiento del ibuprofeno en la placa cromatográfica, se efectuó el raspado de cada muestra. Ver Imagen N° 15 del Anexo N° 04.
4. Dicho raspado se diluyó en etanol para luego ser filtrado. Ver Imagen N° 16: de Anexos.
5. Cabe precisar que de la muestra anterior respecto al estándar de ibuprofeno, se preparó una dilución de 0.1 mL de dicha muestra en etanol en una fiolita de 10 mL. Ver Imagen N° 17: de Anexos.
6. Las muestras filtradas tanto del estándar de ibuprofeno y pastilla de ibuprofeno fueron leídas en el espectrofotómetro de UV Visible. Ver Imagen N° 18 del Anexo N° 04.

## 3.2. Resultados

### Cromatografía en capa fina

Al realizar el revelado con el permanganato de potasio, se logró identificar el desplazamiento del ibuprofeno a lo largo de la placa aluminizada, por lo que se calculó el factor de referencia ( $R_f$ ) de las manchas reveladas, cuyos resultados se detallan a continuación:



**Figura 9.** Cálculo del  $R_f$

Tabla 11. Factor de referencia

Muestras	X (cm)	Y (cm)	R <sub>f</sub>
St2	13	15	0,867
Ibu2	12.7	15.1	0,841
St4	12.5	15.1	0,827
Ibu4	12.3	15.1	0,825
St6	14	15	0,933
Ibu6	13.6	14.9	0,913

Fuente: Elaboración propia

Los valores **R<sub>f</sub>** descritos en la tabla anterior, representan la localización de la posición del ibuprofeno en la placa, determinándose que los valores obtenidos en las muestras preparadas con la pastilla de ibuprofeno son cercanos a los valores de la muestra con el estándar de ibuprofeno.

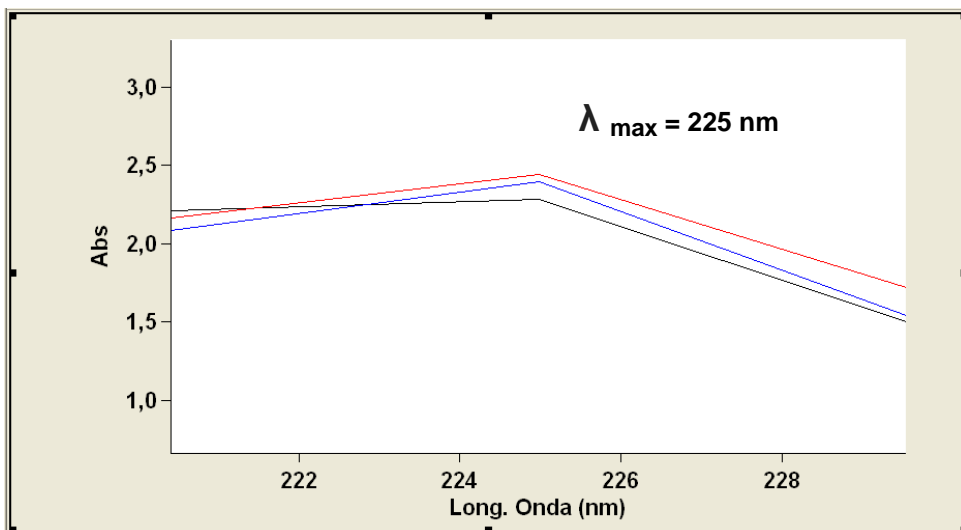
### Espectrofotometría UV Visible

Con la identificación del ibuprofeno mediante el revelado, se procedió con la cuantificación de la concentración final del ibuprofeno, para ello se determinó la curva de calibración definiendo la longitud de onda específica, para lo cual - producto de la lectura- se tiene la siguiente ecuación de calibración:

$$Abs = 0.00108 * Conc + 0.04891$$

Para determinar la longitud de onda, se colocó el rango de 200 a 300 nm, conforme a las bases teóricas, resultando el valor de 225 nm, a la cual el ibuprofeno es absorbido.





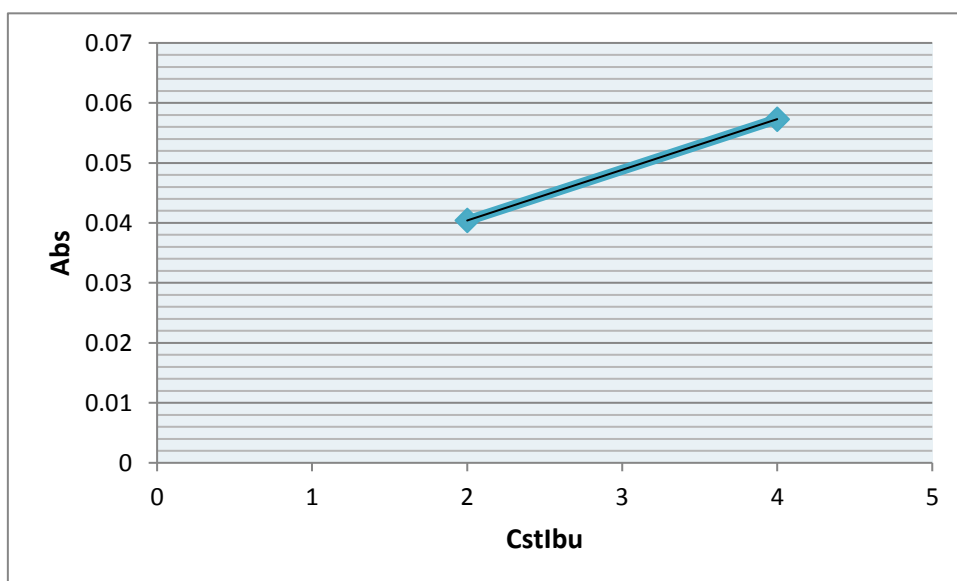
**Figura 10.** Determinación de longitud de onda

Se procedió a determinar la concentración final con los datos de la tabla siguiente:

**Tabla 12.** Concentración inicial de ibuprofeno

$C_{Stlbu}$ (mg/L)	Abs
2	0,0404
4	0,0573

**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 11.** Concentración Estándar de Ibuprofeno vs Absorbancia

**Fuente:** Elaboración propia

Con la fórmula obtenida de la gráfica anterior, se determinó la concentración final de ibuprofeno, tal como se muestra a continuación:

$$y = 0.0085x + 0.0235$$

$$x = \frac{y - 0.0235}{0.0085}$$

Donde:

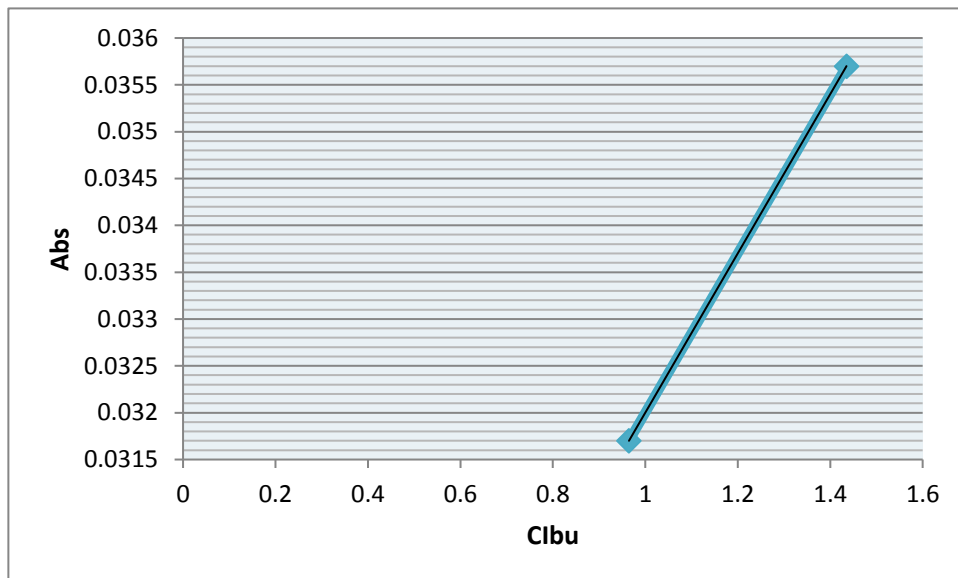
**y:** Absorbancia (Abs)

**x:** Concentración del contaminante

*Tabla 13.* Concentración final de Ibuprofeno

$C_{Ibu}$ (mg/L)	Abs
0,9647059	0,0317
1,4352941	0,0357

Fuente: Elaboración propia



*Figura 12.* Concentración de Ibuprofeno vs abs

Fuente: Elaboración propia

Para determinar la eficiencia del sistema, se calculó el porcentaje de reducción de ibuprofeno de la siguiente manera:

$$\% = \frac{C \text{ Ibuprofeno inicial} - C \text{ Ibuprofeno final}}{C \text{ Ibuprofeno inicial}}$$

Tabla 14. Eficiencia del sistema para la reducción de ibuprofeno

<b>Clbuprofeno inicial (mg/L)</b>	<b>Clbuprofeno final (mg/L)</b>	<b>Eficiencia (%)</b>
2	0,9647059	51,7
4	1,4352941	64,1

**Fuente:** Elaboración propia

## CONCLUSIONES

- Se logró reducir la concentración de ibuprofeno presente en la muestra de agua sintética en un valor mayor al 50%, mediante el tratamiento de fotocatalisis heterogénea empleando como catalizador el  $\text{TiO}_2$ , que al estar en el medio acuoso en contacto con la radiación UV, se activa el proceso fotocatalítico, generando radicales hidroxilo ( $\text{OH}^\bullet$ ) que reaccionan con el contaminante reduciéndolo hasta sus formas más simples como es el  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ .
- Las muestras fueron expuestas a la radiación UV en el sistema de tratamiento por un periodo de 10 minutos garantizando la reducción del ibuprofeno, siendo eficiente incluso empleando un menor tiempo como el mencionado.
- Conforme a las bases teóricas, el tratamiento se desarrolla en un medio ácido por lo que se trabajó con un  $\text{pH} = 3.5$ , el cual favoreció las condiciones para el cumplimiento del objetivo general.
- Por lo mencionado, cabe precisar que esta identificación y cuantificación del ibuprofeno, se logró aplicando la cromatografía en capa fina y el espectrofotómetro UV-Visible, a pesar de tener la limitante de la adquisición de la placa cromatográfica, debido a que es un producto de importación y su entrega se demora 50 días.

## RECOMENDACIONES

- Debido al gran desarrollo de la Industria Farmacéutica y los impactos que sus residuos generan en el ambiente, es conveniente que su tratamiento sea abordado con procesos avanzados, dada las características que estos poseen, abriendo una brecha de interés en el estudio de la presencia de contaminantes emergentes en efluentes hospitalarios, industriales; así como, las grandes farmacias e incluso en el agua potable.

Asimismo, es importante que se lleven a cabo estudios donde se analice la transformación de los contaminantes emergentes presente en las aguas residuales, posterior a su tratamiento mediante procesos de oxidación avanzada.

- Si bien es cierto, el efluente sintético con ibuprofeno fue tratado en el sistema por 10 minutos, se recomienda que se pruebe dicho tratamiento en periodos menores al mencionado; así como, en tiempos muchos mayores, con fines de observar la eficiencia del tratamiento.
- De igual manera, teniendo en cuenta que este tratamiento se lleva a cabo en condiciones ácidas, favoreciendo las condiciones para la reducción del ibuprofeno, se sugiere para siguientes investigaciones, regular el pH.

## BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, A. (2015). *Estudio de la Fotocatálisis Heterogénea solar para tratar un efluente contaminando con productos farmacéticos: ibuprofeno, diclofenaco y sulfametoxazol*. Quito: Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria - Escuela Politécnica Nacional.
- Acosta, L. (2009). *Proceso Fotofenton de Oxidación Química para el tratamiento de aguas industriales*. Universidad Carlos III de Madrid.
- Ardila, E., & Zárate, Adriaan. (2009). *Evaluación a nivel de laboratorio de un sistema de fotocatalisis heterogénea para el tratamiento de líquidos fijadores agotados de radiología, fotografía y artes gráficas; subsiguiente al proceso de recuperación de la plata por electrólisis*. Bogotá: Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria.
- Avilés, M., Sánchez, M., & Ramírez, N. (2015). *Proyecto "Métodos Analíticos para Determinación de Compuestos Emergentes en Agua"*. México.
- Azagra, P., Domínguez, P., & Molina, J. (2015). Determinación del Ibuprofeno en formulaciones farmacéuticas genéricas. *Facultad de Química, Universidad de Sevilla*.
- Barceló, L. D., & López de Alda, M. J. (2008). Contaminación y calidad química del agua: el problema de los contaminantes emergentes. *Instituto de Investigaciones Químicas Y Ambientales - CSIC (Barcelona)*.
- Carbajo, J. (2013). *Aplicación de la fotocatalisis solar a la degradación de contaminantes orgánicos en fase acuosa con catalizadores nanoestructurados de TiO<sub>2</sub>*. Universidad Autónoma de Madrid.
- Correia de Soto, A. (2018). *Comportamiento ambiental del ibuprofeno y el diclofenaco en suelos venezolanos*. Bárbula: Universidad de Carabobo.

(2010). *Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM "Aprueba Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales"*.

Directiva 91/271/CEE. (1991). *Sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas*.

Doccity. (27 de julio de 2018). Obtenido de Doccity: <https://www.doccity.com/es/guia-de-laboratorio-espectrofotometria/4088827/>

Duna, L. (2015). *Nuevas tecnologías para el análisis de contaminantes emergentes*. Universidad de Alicante.

Eddy, M. &. (1995). *Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización*. Madrid.

Henriquez, D. (2012). *Presencia de contaminantes emergentes en aguas y su impacto en el ecosistema. Estudio caso: Productos farmacéuticos en las cuencas del río Biobío, región del Biobío, Chile*. Universidad de Chile.

Hernando, N. (2017). *Estudio de la eliminación de Diclofenaco en aguas residuales mediante fotocátalisis heterogénea con TiO<sub>2</sub>*. Valladolid: Departamento de Ingeniería Química y Tecnología del Medio Ambiente - Universidad de Valladolid.

Hignite, C., & Azarnoff, D. (1977). *Drugs and drug metabolites as environmental contaminants: Chlorophenoxyisobutyrate and salicylic acid in sewage water effluent*. Kansas.

MINAM. (2010). *Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM "Límites Máximos Permisibles para efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales"*. Lima.

MINAM. (2017). *Decreto Supremo N° 004-2017-Minam*. Lima.

- Moreno, R. (2005). *Procedimiento para la desinfección de agua mediante fotocátalisis solar*. Xalapa Veracruz.
- MVCS. (2019). *Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA "Reglamento de Valores Máximos Admisibles para la descarga de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario"*. Lima.
- Núñez, L., & Moretton, J. (2006). Perfil microbiológica y resistencia bacteriana a desinfectantes en aguas residuales de hospital. *Higiene y Sanidad Ambiental*.
- Patiño, Y., Díaz, E., & Ordóñez, S. (2014). Microcontaminantes emergentes en aguas: tipos y sistemas de tratamiento. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 2.
- Quesada, I., Jáuregui, U., Wilhelm, A.-M., & Delmas, H. (2009). Contaminación de las aguas con productos farmacéuticos. Estrategias para enfrentar la problemática. *CENIC Ciencias Biológicas*.
- Rivai, H., Kardela, W., & Kartanti, A. (2016). Development and validation of analysis method for tablet ibuprofen by thin layer chromatography-densitometry. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*.
- Rodríguez, A., Letón, P., Rosal, R., Dorado, M., Villar, S., & Sanz, J. (2006). *Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales*. Madrid.
- Santibañez, S. d. (2014). *Determinación de la cinética de degradación de diclofenaco, ibuprofeno y su mezcla, a temperatura ambiente*. Toluca Estado de México.
- Sirtori, C. (2010). *Evaluación analítica de procesos de transformación biológica, fotoquímica y fotocatalítica de fármacos en agua*. España: Universidad de Almería.



Tekniker, F. I. (2011). Fármacos en Efluentes Hospitalarios.

## ANEXOS

### Anexo N° 01: Lista de sustancias prioritarias en el ámbito de la política de aguas

	Número CAS	Número EU	Nombre de la sustancia prioritaria	Identificado como sustancia peligrosa prioritaria
1.	15972-60-8	240-110-8	Alaclor	
2.	120-12-7	204-371-1	Antaceno	X
3.	1912-24-9	217-617-8	Atrazina	
4.	71-43-2	200-753-7	Benceno	
5.	n.a.	n.a.	Difenileters Brominados (DBE)	X
	32534-81-9	n.a.	Pentabromodifenileter (congéneres n° 28, 47, 99, 100, 153 y 154)	
6.	7440-43-9	231-152-8	Cadmio y sus compuestos	X
7.	85535-84-8	287-476-5	Cloroalcanos C <sub>10-13</sub>	X
8.	470-90-6	207-432-0	Clorfenvinfós	
9.	2921-88-2	220-864-4	Clorpirifós (dlorporifós-etil)	
10.	107-06-2	203-458-1	1,2-dicloroetano	
11.	75-09-2	200-838-9	Diclorometano	
12.	117-81-7	204-211-0	Di(2-etilhexil)ftalato (DEHP)	
13.	330-54-1	206-354-4	Diurón	
14.	115-29-7	204-079-4	Endosulfán	X
15.	206-44-0	205-912-4	Fluoranteno	
16.	118-74-1	204-273-9	Hexaclorobenceno	X
17.	87-68-3	201-764-5	Hexaclorobutadieno	X
18.	608-73-1	210-158-9	Hexaclorociclohexano	X
19.	34123-59-6	251-835-4	Isoproturón	
20.	7439-92-1	231-100-4	Plomo y sus compuestos	
21.	7439-97-6	231-106-7	Mercurio y sus compuestos	X
22.	91-20-3	202-049-5	Naftaleno	
23.	7440-02-0	231-111-4	Níquel y sus compuestos	

24.	25154-52-3	246-672-0	Nonifenoles	X
	104-40-5	203-199-4	(4-Nonifenol)	X
	1806-26-4	217-302-5	Octifenol	
25.	140-66-9	n.a.	(4-(1,1',3,3' tetrametilbutifenol))	
	608-93-5	210-172-5	Pentaclorobenceno	X
27.	87-86-5	201-778-6	Pentaclorofenol	
	n.a.	n.a.	Hidrocarburos aromáticos policíclicos	X
28.	50-31-8	200-028-5	(Benzo(a)pireno)	X
	205-99-2	205-911-9	(Benzo(b)fluoranteno)	X
	191-24-2	205-883-8	(Benzo(g,h,i)perileno)	X
	207-08-9	205-916-6	(Benzo(k)fluoranteno)	X
	193-39-5	205-893-2	(Indeno(1,2,3-cd)pireno)	X
29.	122-34-9	204-535-2	Simazina	
30.	n.a.	n.a.	Compuesto de tributilestaño	X
	36643-28-4	n.a.	Catión de tricutilestaño	X
31.	12002-48-1	234-413-4	Triclobencenos	
32.	67-66-3	200-663-8	Triclorometano (cloroformo)	
33.	1582-09-8	216-428-8	Trifluralin	

**Fuente:** Tomado de Sirtori (2010)

**Anexo N° 02:** Sustancias sometidas a revisión para su posible identificación como sustancias prioritarias o como sustancias peligrosas prioritarias

Número CAS	Número EU	Nombre de la sustancia
1066-51-9	-	AMPA
250-89-0	246-585-8	Bentazon
80-05-7		Bisfenol A
115-32-2	204-449-4	Dicofol
60-00-4	20-449-4	EDTA
57-12-5		Cianuro libre
1071-83-6	213-997-4	Glifosato
7085-19-0	230-386-8	Mecoprop (MCP)
81-15-2	201-329-4	Almiscle xileno
1763-23-1		Ácido de perfluoro-octan-sulfonato (PFOS)
	-	Quinoxifeno (5,7,-dicloro-4-(p-fluorofenoxi)quinolina)
124495-18-7		Dioxinas
		PCB

**Fuente:** Tomado de Sirtori (2010)

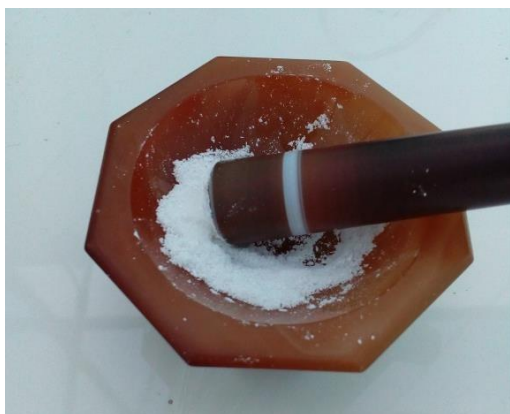
**Anexo N° 03:** Listado de sustancias farmacológicas contenidas en el total de sustancias establecidas en la Proposición 65.

Sustancia	Tipo de Toxicidad	Número CAS	Fecha de listado	NSRL o MADL (µg/día)
Alprazolam (ansiolítico, antipático)	Reproductiva	28981-97-7	1 julio 1990	
Amoxapine (antidepresivo)	Reproductiva	14028-44-5	15 mayo 1998	
Esteroides anabólicos	Hombre-mujer		1 abril 1990	
Aspirina	Reproductiva, mujer	50-78-2	1 julio 1990	
Atenolol (betabloqueador)	Reproductiva	29122-68-7	26 agosto 1997	
Azacitidina (agente demetilante del ADN)	cáncer	320-67-2	1 enero 1992	
Carbamazepina (antiepiléptico)	Reproductiva	298-46-4	29 enero 1999	
Cloranfenicol (antibiótico)	cáncer	56-75-7		
Ciclosporina (inmunosupresor)	cáncer	59865-12-3	1 enero 1992	
Claritromicina (antibiótico)	Reproductiva	81103-11-9	1 mayo 1997	
Clofibrato (antilípido)	cáncer	637-07-0	1 septiembre 1996	
Diazepam	Reproductiva	439-14-5	1 enero 1992	
Ergotamina tartrato (antijaquecoso)	Reproductiva	379-79-3	1 abril 1990	
17 β estradiol (hormona)	Cáncer	50-28-2	1 enero 1988	0,02
Estrógenos, esteroides	Cáncer	----	19 agosto 2005	
Estrona (estrógeno)	cáncer	53-16-7	1 enero 1988	
Etinilestradiol (estrógeno)	Reproductiva	57-63-6	1 enero 1988	
gemfibrozilo	cáncer	25812-30-0	22 diciembre 2000	
Lovastatina (antilípido)	Reproductiva	75330-75-5	1 octubre 1992	
Mestranol (estrógeno)	cáncer	72-33-3	1 abril 1988	
penicilina	Reproductiva	52-67-5	1 enero 1991	
Fenobarbital (anticonvulsivo)	cáncer	50-06-6	1 enero 1990	
Piridina (síntesis de fármacos)	cáncer	110-86-1	17 mayo 2002	

Fuente: Tomado de Henriquez (2012)

**Anexo N° 04:** Panel fotográfico

**Imagen 01:** Pastilla molida de Ibuprofeno de 400 mg



**Imagen 02:** Dióxido de Titanio  $TiO_2$



**Imagen 03:** Balanza analítica para pesar por separado de estándar de ibuprofeno, pastilla de ibuprofeno y dióxido de titanio.



**Imagen 04:** Filtrado de las muestras



**Imagen 05:** Muestras diluidas en etanol y posteriormente filtradas



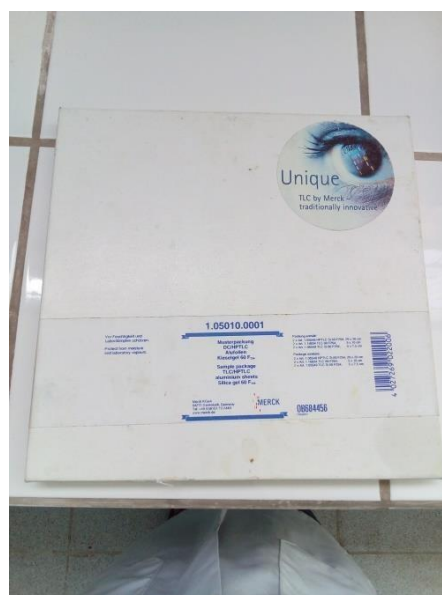
**Imagen 06:** Sistema de tratamiento



**Imagen 07:** Ácido Sulfúrico para ajustar el pH del efluente



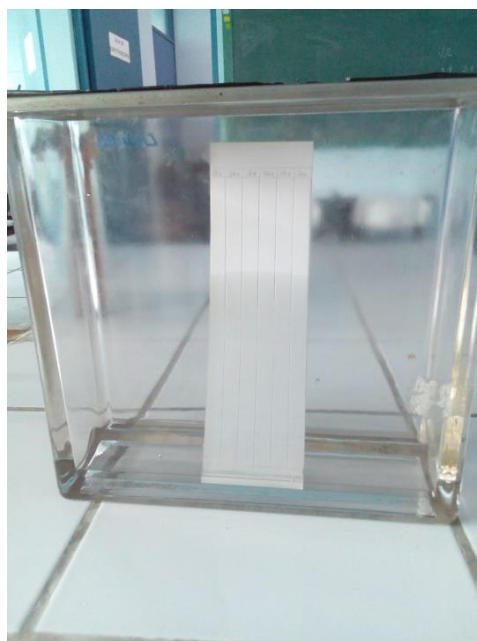
**Imagen 08:** Placa aluminizada para cromatografía en capa fina



**Imagen N° 09:** Placa aluminizada de 6 cm x 20 cm



**Imagen 10:** Placa aluminizada en cámara cromatográfica



**Imagen 11:** Desplazamiento



**Imagen 12:** Revelado cromatográfico

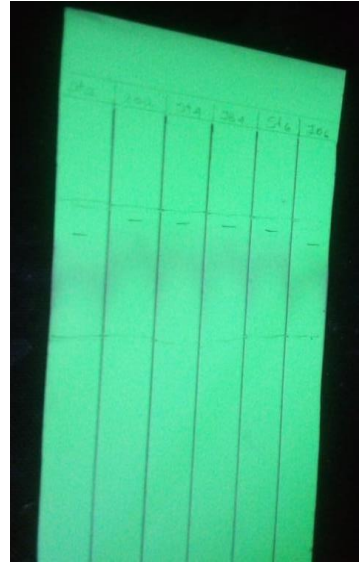




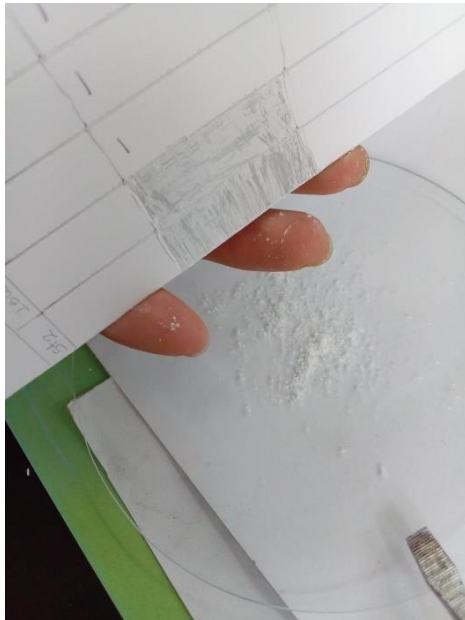
**Imagen 13:** (a) Placa lado izquierdo sin el revelado; y, (b) placa lado derecho con el revelado



**Imagen 14:** Observación en lámpara UV con carcasa



**Imagen 15:** Raspado



**Imagen 16:** Dilución del raspado en etanol



**Imagen 17:** Dilución de 0.1 mL de la muestra en etanol en una fiolita de 10 mL



**Imagen 18:** Lectura de las muestras en el espectrofotómetro



## Anexo N° 05: Resultados de la lectura de muestras en el espectrofotómetro UV-Visible

### Informe Análisis Concentración (Segunda Prueba)

Hora Informe 28/03/2019 19:10:59  
Método  
Nombre de Lote C:\Documents and Settings\Administrador\Escritorio\Lourdes\ConcePIb u280319.BCN  
Aplicación Concentración 3.00 (339)  
Operador ConcPIb

#### Condiciones del Instrumento

Instrumento Cary 50  
N° Versión Instrumento. 3,00  
Long. Onda (nm) 225,0  
Modo Ordenadas Abs  
T. Med. (sec) 0,1000  
Replicados 1  
Media Patrón/Muestra Apag.  
Correcciones de peso y volumen Apag.  
Tipo Ajuste Lineal  
Mín R<sup>2</sup> 0,95000  
Unidades Concentración mg/L  
Cambiador Celdas Encen.

Comentarios:

#### Informe Cero

Leer	Abs	nm
Cero	(3,3757)	225,0

#### Calibración

Tiempo Colección 28/03/2019 19:11:49

Patrón	Concentración	F Lecturas
	mg/L	
Patrón2	2,0	0,0404
Patrón3	4,0	0,0573
Patrón4	6,0	0,0361

Ecuación Calib. Abs = -0,00108\*Conc + 0,04892  
Coef. Correlación 0,03712

Fallo en Mín R2

#### Análisis

Tiempo Colección 28/03/2019 19:14:18

Muestra	Concentración	F Lecturas
	mg/L	
Muestra1	U	0,0317
Muestra2	U	0,0357
Muestra3	U	0,0172

#### Leyenda Marcas Resultados

U = Sin calibrar                      O = Fuera de rango  
N = No usado en calibración       R = Lectura repetida

**Anexo N° 06:** Detalle del costo de materiales utilizados

N°	Materiales	Cantidad	Costo (Soles)
1.	Etanol	2 L	65.00
2.	Acetato de Etilo	10 mL	55.00
3.	Agua destilada	8 L	16.00
4.	TiO <sub>2</sub> (Catalizador)	kg	10.00
5.	Ácido Sulfúrico (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )		35.00
6.	Papel filtro	2 pliegos	4.00
7.	Estándar de Ibuprofeno		*
8.	Pastillas de Ibuprofeno	1 tableta de 400 mg	1.00
9.	Placa aluminizada de 6 cm x 2cm	2 placas	**
10.	Cuaderno de apuntes		2.00
11.	Internet		80.00
12.	Pasajes		100.00
<b>TOTAL</b>			<b>368.00</b>

\* El estándar de ibuprofeno fue donado.

\*\* La placa aluminizada fue donada.

**Fuente:** Elaboración propia