

## Degradación de ibuprofeno en suelo por medio de *arthrobacter sp.*, empleando biomasa

Lina Agustina Bernal Martínez

[lina.bernal@tesjo.edu.mx](mailto:lina.bernal@tesjo.edu.mx)

<https://orcid.org/0000-0002-4922-043X>

Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán  
Jocotitlán, México

Raymundo Sánchez Orozco

[r.sanchez@tesjo.edu.mx](mailto:r.sanchez@tesjo.edu.mx)

<https://orcid.org/0000-0003-0006-1711>

Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán  
Jocotitlán, México

Laura Garduño Pineda

[laura.garduno@tesjo.edu.mx](mailto:laura.garduno@tesjo.edu.mx)

<https://orcid.org/0000-0002-3242-0611>

Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán  
Jocotitlán, México

### RESUMEN

En el presente estudio se evaluó la degradación de ibuprofeno en suelo por medio de la bacteria *Arthrobacter sp.*, se realizó un muestreo puntual representativo, la caracterización fisicoquímica de las muestras de suelo (S), biomasa (B) y una combinación de suelo-biomasa denominada mezcla (M), se caracterizó mediante IR-FTR y MEB, se llevó a cabo el conteo en placa de la bacteria *Arthrobacter sp.*, se calculó la cinética de degradación, obteniendo como resultados que los suelos S, B y M, tuvieron concentraciones finales de 11619.67, 11619.84 y 11606.76 mg/L, respectivamente, eliminando de cada uno el 0.85 %, 0.85 % y 0.97 % de ibuprofeno, en los suelos S y B el ibuprofeno tuvo un tiempo de vida media de 138.12 días, esto quiere decir que se degradaría completamente en 4.5 meses, mientras que en el suelo M el tiempo de vida media del ibuprofeno fue de 143.84 días por lo que se degradaría completamente en 4.6 meses.

**Palabras clave:** *Ibuprofeno; biomasa; contaminantes emergentes; suelo*

Correspondencia: [lina.bernal@tesjo.edu.mx](mailto:lina.bernal@tesjo.edu.mx)

Artículo recibido 05 enero 2023 Aceptado para publicación: 26 enero 2023

Conflictos de Interés: Ninguna que declarar

Todo el contenido de **Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar**, publicados en este sitio están disponibles bajo

Licencia [Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) 

Cómo citar: Bernal Martínez, L. A., Sánchez Orozco, R., & Garduño Pineda, L. (2023). Degradación de ibuprofeno en suelo por medio de *arthrobacter sp.*, empleando biomasa. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(1), 5381-5391. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v7i1.4835](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.4835)

## Degradation of ibuprofen in soil by means of *arthrobacter sp.*, using biomass

### ABSTRACT

In the present study, the degradation of ibuprofen in soil was evaluated by means of the *Arthrobacter sp.* bacteria, a representative point sampling was carried out, the physicochemical characterization of the soil samples (S), biomass (B) and a combination of soil- biomass called mixture (M), was characterized by IR-FTR and SEM, the plate count of the *Arthrobacter sp.* bacteria was carried out, the degradation kinetics was calculated, obtaining as results that soils S, B and M, had final concentrations of 11619.67, 11619.84 and 11606.76 mg/L, respectively, eliminación 0.85 %, 0.85 % and 0.97 % of ibuprofen from each one, in soils S and B ibuprofen had a half-life of 138.12 days, this means that it would completely degrade in 4.5 months, while in the M soil the half-life time of ibuprofen was 143.84 days, so it would completely degrade in 4.6 months.

**Keywords:** *ibuprofen; biomass; emerging pollutants; soil*

## INTRODUCCIÓN

Los contaminantes emergentes son compuestos químicos, cuya presencia en el medioambiente se debe a que han pasado inadvertidos, que no están regulados y que son desechados en altas cantidades provocando que estos alcancen concentraciones peligrosas, se han detectado en fuentes de abastecimiento de agua, aguas subterráneas y en suelo. Los contaminantes emergentes que más destacan son de origen farmacéutico (Freire Moncayo, 2018), diversos estudios han demostrado la alta incidencia de estos, en las plantas tratadoras de aguas y la persistencia en el suelo, dependiendo de sus propiedades químicas como: la solubilidad, volatilidad, absorción, polaridad y estabilidad; estos factores afectan la eficiencia de los tratamiento de las aguas residuales y el grado de remoción de estos contaminantes, el ibuprofeno tiene una alta persistencia en el medio ambiente debido a la movilidad que este posee, por lo cual se ha detectado en suelos, específicamente en cultivos de verduras. En algunos estudios reportados por Grossberger et al., 2014, encontraron que el ibuprofeno y el diclofenaco estaban presentes en suelos agrícolas con diferente contenido de materia orgánica (1,2-2,8 %) y un pH básico (8,1), los cuales fueron extraídos de los suelos después de un tiempo de incubación a través de un sistema de extracción acelerada por solvente (acetonitrilo: agua, 70:30 v/v) ajustándose al modelo de decaimiento exponencial de primer orden e indicaron una rápida degradación biológica con tiempos de vida entre 3 y 16 días para el ibuprofeno, teniendo una velocidad de degradación con el aumento de la concentración inicial de 0,05 mg/ Kg a 5 mg/Kg, de esta manera las propiedades físicas y químicas de los fármacos produjeron mayor efecto en la cinética de biodegradación que las características propias del suelo. Correia de Soto, 2018, determinó la cinética de degradación del diclofenaco e ibuprofeno y su mezcla, a temperatura ambiente, en donde después de 72 h el ibuprofeno empezó a presentar productos de degradación y tuvo un tiempo de vida media de 15.5 h, también se tiene reportado el estudio del compostaje como técnica para la eliminación de ibuprofeno bajo condiciones aerobias y anaerobias, además de identificar las prácticas de biorremediación más adecuadas. La biodegradación del ibuprofeno se dio en un intervalo de 3 a 4 días y la concentración se redujo en 99 %, por tal motivo el objetivo de este estudio fue evaluar la degradación de ibuprofeno en suelo por medio de *Arthrobacter sp.*, empleando biomasa.

## **METODOLOGÍA**

Se utilizó ibuprofeno de 400 mg de la marca Pfizer, agua destilada, metanol grado analítico 99.9 %, soluciones buffer de pH de 4.0, 7.0 y 10.0 de la marca Thermo Scientific, acetona grado analítico 99.9 % y agar base sangre de la marca NEONI microbiología laboratorios. Los equipos que se utilizaron son una bomba de vacío de la marca GB modelo AIT-2B, micropipeta de 10-100  $\mu\text{L}$  de la marca EPPENDORF OUTLET, balanza analítica de la marca OHAUS modelo PA163, medidor de pH de la marca HACH modelo HQ40d, horno digital de convección natural de la marca Memmert modelo UN-55, parrilla de agitación EK-78HW-1, centrífuga de la marca SOLBAT modelo J-40, espectrofotómetro UV-VIS de la marca Thermo Scientific modelo 840-210300, espectrofotómetro FT-IR de la marca Perkin Elmer-UATR Two modelo LS55 y microscopio electrónico de barrido de la marca JOEL modelo JSM-IT100.

### **Muestreo**

La muestra de suelo (S) se obtuvo de una parcela de la comunidad de San Bartolo del Llano Ixtlahuaca, Estado de México, se seleccionó un punto con menor número de raíces (sin algún tipo de planta), se llevó a cabo una excavación en un área de 200  $\text{cm}^2$  a una profundidad de 30 cm, de la muestra representativa (Lizcano Toledo et al., 2017), se pesaron 2 Kg. La muestra de suelo de biomasa (B), se obtuvo de un costal de composta que contenía cenizas, hojas y tierra negra (2 Kg). La mezcla (M) se realizó con la combinación de un 25 % de suelo y de un 75 % de biomasa, preparando 2 Kg.

### **Preparación de la muestra**

Se secaron 2 kg de cada suelo, se realizó un extendido de 2.5 cm de profundidad inferior de cada muestra sobre una charola de plástico y se colocaron a la sombra a una temperatura no mayor a 35 °C a una humedad relativa de entre 30 % y 70 %, posteriormente se procedió a la molienda de cada muestra, para ello se retiraron las impurezas presentes; piedras y rocas, se realizó la molienda con un tamiz de malla 80, un tamaño de partícula de 0.180 mm. Por último, las muestras de suelo se homogenizaron para evitar sesgo en la selección de las submuestras que van a ser destinadas para las determinaciones analíticas. El homogeneizado se realizó, utilizando bolsas de plástico, haciendo girar las muestras en todas direcciones.

### **Caracterización de los suelos: S, B y M**

La caracterización fisicoquímica de los 3 tipos de suelo se llevó a cabo de acuerdo a la

Norma Oficial Mexicana, NOM-021-SEMARNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudio, Muestreo y Análisis. Para las técnicas de caracterización aplicadas se pulverizaron y homogenizaron 3 comprimidos, tomando una muestra significativa (Matkovic et al., 2004).

#### **Determinación y conteo de la bacteria *Arthrobacter sp.*, en los suelos S, B y M**

Se realizó mediante un medio selectivo en una solución que contiene los nutrientes necesarios para recuperar, multiplicar, aislar e identificar los microorganismos bajo condiciones favorables de temperatura y pH. La prueba consistió en identificar si existe ausencia o presencia, de acuerdo a la metodología descrita por la Norma Oficial Mexicana, NOM-092-SSA1-1994, método para la cuenta de bacterias aerobias en placa. Se pesó 1 g de cada tipo de suelo y cada uno se vació en una placa Petri estéril, posteriormente se elaboró una solución de agar, se pesaron 12 g de agar base sangre en 300 mL de agua destilada, se calentó hasta hervir, finalmente esta solución de agar se vació en cada una de las placas Petri con suelo hasta  $\frac{3}{4}$  de su capacidad, una vez preparadas las placas con la muestra de suelo en agar, se dejaron incubar a 35 °C durante 3 días (Zhang et al., 2011). La experimentación se llevó a cabo en recipientes de plástico de 6.01 cm de diámetro interno y 8 cm de altura, con aberturas en la parte inferior de 1 mm, con un papel filtro con tamaño de poro de 11  $\mu\text{m}$  para soportar el suelo, los recipientes se envolvieron en papel aluminio para evitar la posible degradación fotoquímica, cabe mencionar que la cantidad utilizada de cada tipo de suelo fue secada, tritura y tamizada.

#### **Cinética de degradación**

En función al diseño experimental de cada muestra preparada de los suelos S, B y M se realizó cinco riegos en 5 días durante 4 semanas, se tomaron 5 mL de cada muestra y se analizaron por espectrofotometría infrarroja, calculando la concentración presente en cada una y el orden de reacción.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Condiciones de las muestras: S, B y M

En la Tabla 1, se presentan las condiciones a las cuales se mantuvieron las muestras S, B y M.

**Tabla 1. Condiciones de las muestras de suelo**

Variable	Valor
Humedad (%)	30
Temperatura (°C)	21 a 32
Tamaño de partícula del suelo (mm)	0.180
Número de riegos	5 riegos en 5 días
Hora de riego	11:00 am
Volumen de riego	10 mL H <sub>2</sub> O destilada
Número total de riegos	20
Tiempo	6 meses

### Caracterización fisicoquímica de los suelos: S, B y M

En la Tabla 2, se muestran los valores promedio de tres réplicas de la caracterización fisicoquímica de los 3 tipos de suelo, se observa que el suelo B y M contaron con porcentajes de humedad de 3.56 % y 3.35 % teniendo así una menor retención de humedad, el suelo S presento una humedad mayor de 7.45 %, el suelo S al tener una densidad de 2.195 g/cm<sup>3</sup> es un suelo arenoso, mientras que los suelos B y M al tener una densidad de 0.5644 g/cm<sup>3</sup> y 0.7216 g/cm<sup>3</sup> son suelos orgánicos, es decir estos suelos al poseer un porcentaje mayor de materia orgánica tienen una menor densidad. En función a los valores de pH los suelos S, B, y M son moderadamente ácidos, mientras que la conductividad eléctrica muestra que los 3 tipos de suelo tienen efectos despreciables de salinidad y esto se comprueba con la NOM-021-SEMARNAT-2000, donde señala que suelos con un valor <1.0 dS/m, son suelos con efectos despreciables de salinidad. Finalmente, a través de la obtención del carbono orgánico se determinó el porcentaje de materia orgánica y se encontró que el suelo con mayor contenido de materia orgánica fue el suelo B, lo cual era de esperarse ya que posee un mayor contenido de carbono y nitrógeno.

Tabla 2. Caracterización fisicoquímica del suelo: S, B y M

Variable	Tipo de suelo		
	S	B	M
% de humedad	7.45	3.56	3.35
Densidad real (g/cm <sup>3</sup> )	2.19	0.56	0.72
pH	6.56	6.52	6.58
Conductividad eléctrica (dS/m)	0.0171	0.0223	0.0127
C Orgánico (mg/L)	11.46	34.39	26.75
Materia orgánica (mg/L)	19.76	59.30	46.12

### Caracterización de los suelos: S, B y M

En la Figura 1, muestra el espectro infrarrojo de los tres tipos de suelo y en la Figura 2, se presenta el espectro infrarrojo del ibuprofeno, como referencia la región de la materia orgánica se encuentra de los 2000 a 1500 cm<sup>-1</sup> y la región de los minerales se encuentra de los 1000 a 500 cm<sup>-1</sup>, se observó que el suelo S tiene tres picos con alta intensidad a longitudes de onda de 1000, 910 y 530 cm<sup>-1</sup> en la región de los minerales, mientras que el suelo B presento dos picos, uno en la región de la materia orgánica a una longitud de onda de 1740 cm<sup>-1</sup> y el otro en la región de los minerales a una longitud de onda de 1036 cm<sup>-1</sup>. En el suelo M, se observó que posee mayor composición orgánica que mineral, posteriormente se observa la asimetría de los picos de los suelos S, B y M. En las muestras de suelo, al inicio se observó que solo aparecían grupos funcionales pertenecientes al ibuprofeno, posteriormente en el suelo S, a los 17 días se encontraron grupos funcionales diferentes a los del ibuprofeno, en el suelo B, a los 15 días y en el suelo M a los 24 días, dichos grupos funcionales son: C≡O, -CH<sub>3</sub>, C-N, C-O y C=O, observándose que la degradación en los suelos S y B es lenta, pero es aún más lenta en el suelo (M).

Figura 1. FTIR de los tres tipos de suelo: S, B y M

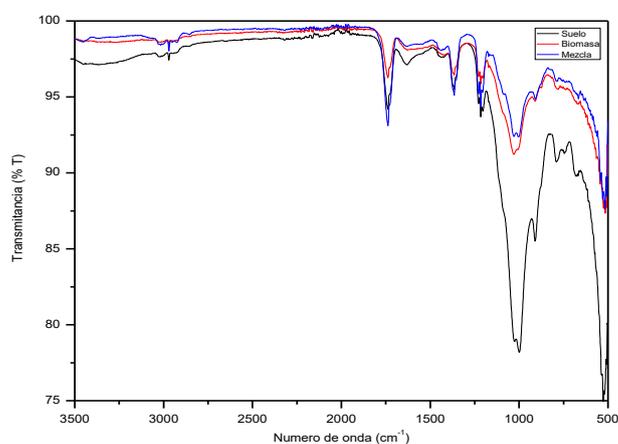
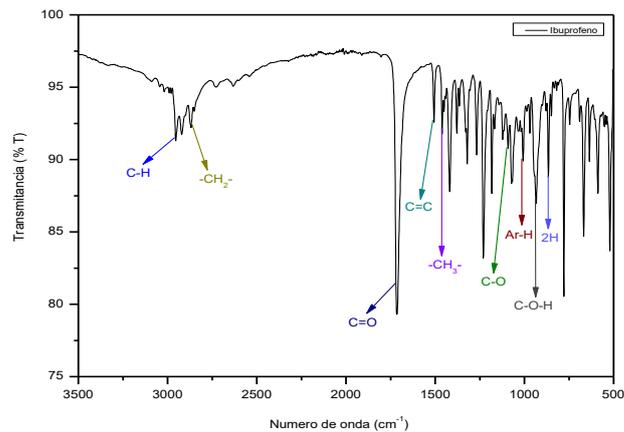


Figura 2. FTIR del ibuprofeno



En la Figura 3, se presentan las micrografías de los suelos S, B y M sin y con ibuprofeno 100x a 1000x, 3a) en S, las partículas que posee son lisas, mientras que en el suelo 3b) B, presenta partículas oscuras de morfología porosa y cilíndrica con superficie suave, en el suelo 3c) M, la morfología de las partículas es lisa, porosa y cilíndricas, así mismo se observó que en cada tipo de suelo el ibuprofeno se depositó dentro de los poros de los compuestos de cada suelo. En la Figura 4, se observa las micrografías correspondientes al ibuprofeno.

Figura 3. Micrografías del suelo 3a) S, 3b) B y 3c) M sin y con ibuprofeno a 100x y 1000x

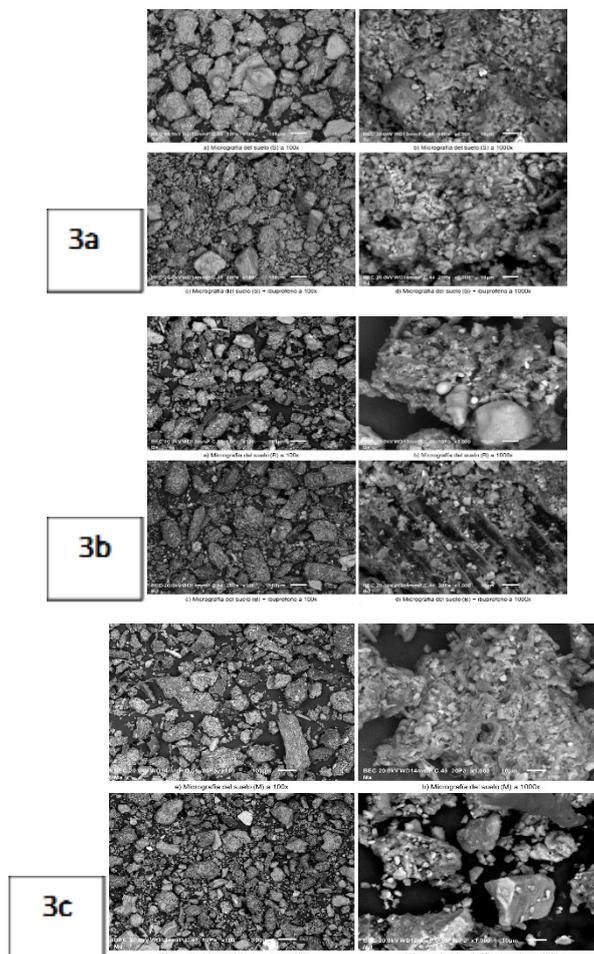
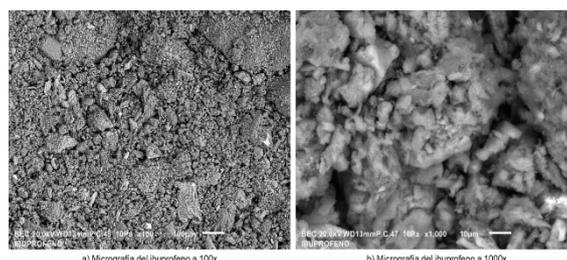


Figura 4. Micrografías del ibuprofeno a 100x y 1000x



### Determinación y conteo de la bacteria *Arthrobacter sp.*, en los suelos S, B y M

En la Tabla 3, se muestran los valores de las UFC, encontradas en los tipos de suelo durante un periodo de tiempo de 4 semanas.

Tabla 3. Número de UFC presentes en cada tipo de suelo

Tiempo	Unidades	Tipo de suelo		
		S	B	M
Inicio	UFC g <sup>-1</sup>	2.14x10 <sup>5</sup>	2.26x10 <sup>5</sup>	2.18x10 <sup>5</sup>
Semana 1	UFC g <sup>-1</sup>	1.42x10 <sup>5</sup>	1.92x10 <sup>5</sup>	1.6x10 <sup>5</sup>
Semana 2	UFC g <sup>-1</sup>	1.24x10 <sup>5</sup>	1.76x10 <sup>5</sup>	1.52x10 <sup>5</sup>
Semana 3	UFC g <sup>-1</sup>	9.2x10 <sup>4</sup>	1.3x10 <sup>5</sup>	5.2x10 <sup>4</sup>
Semana 4	UFC g <sup>-1</sup>	6x10 <sup>4</sup>	8.8x10 <sup>4</sup>	7.4x10 <sup>4</sup>

De los resultados de la Tabla 3, se observó que cada tipo de suelo conto con diferente número de colonias iniciales y el suelo con mayor número de colonias iniciales fue el B, esto debido a que posee un alto porcentaje de materia orgánica, sin embargo, se observó una disminución gradual del número colonias presentes en los tres tipos de suelo, debido a que el ibuprofeno presenta un efecto antibacteriano significativo contra bacterias gram-positivas (Correia de Soto, 2018), de esta manera el porcentaje perdido de colonias, se obtuvo de la diferencia entre el número de colonias iniciales y finales, en suelo S la diferencia es de 1.54 x10<sup>5</sup> UFC g<sup>-1</sup>, en suelo B se obtuvo de 1.38x10<sup>5</sup> UFC g<sup>-1</sup> y en suelo M la diferencia fue de 1.44x10<sup>5</sup> UFC g<sup>-1</sup>, esto quiere decir que existió una disminución de colonias del 28.03 % en el suelo S, un 38.93 % en el suelo B y un 33.94 % en el suelo M, con el conteo de colonias de cada tipo de suelo se estima que existe degradación del ibuprofeno por parte de la bacteria *Arthrobacter sp.*, debido a que el número de colonias no disminuyo drásticamente, lo cual indica que las colonias de la bacteria continua usando al ibuprofeno como fuente de nutriente.

### Cinética de degradación

En la Tabla 4, se muestran los resultados obtenidos de la cinética de degradación, en los suelos S, B y M se tiene un comportamiento de reacción de segundo orden, sin embargo, el tiempo de vida media calculado en los suelos S y B fue de 138.12, esto quiere decir que se degradaría completamente en 4.5 meses, mientras que en el suelo M el tiempo de vida media del ibuprofeno fue de 143.84 días, por lo que se degradaría completamente en 4.6 meses, si bien los tiempos de vida media son bastante largos comparados con los reportados por Correia de Soto, 2018, que eran de 10 y 15 días, la diferencia de tiempo de vida media no es tan significativa, se esperaba que el tiempo de vida media en los suelos B y M fueran más cortos ya que poseen un mayor contenido de materia orgánica y por lo tanto en estos hay mayor actividad microbiana. Así mismo los suelos S, B y M, tuvieron concentraciones finales de 11619.67, 11619.84 y 11606.76 mg/L, se eliminó de cada uno un 0.85 %, 0.85 % y 0.97 % de ibuprofeno respectivamente, esto indica que los suelos S y B representan una mejor opción para la degradación del ibuprofeno por las características que poseen, con respecto al suelo M, tiene la capacidad de degradar al ibuprofeno sin embargo el tiempo en que sucede es un más largo.

**Tabla 4. Cinética de degradación**

Tipo de suelo	Ecuación	$t^{1/2}$ (d)
S	$C_A = C_{A0} - kt \quad (1)$ $y = -1 * 10^{-11} x^2 + 6 * 10^{-9} x + 9 * 10^{-5}$ $R^2 = 0.8125$	18.12
B	$C_A = C_{A0} - kt \quad (2)$ $y = -1 * 10^{-11} x^2 + 6 * 10^{-9} x + 9 * 10^{-5}$ $R^2 = 0.8153$	138.12
M	$\frac{1}{[A]} = \frac{1}{[A_0]} + kt \quad (3)$ $y = -9 * 10^{-12} x^2 + 5 * 10^{-9} x + 9 * 10^{-5}$ $R^2 = 0.7941$	143.84

Algunos de los probables subproductos formados reportados después de dos meses de la degradación del ibuprofeno son el ácido 2-hidroxi-2-[4-(2metilpropil) fenil propanoico, ácido 2-hidroxi-2-[4-(2metilpropil) fenil peróxido, ácido (2RS)-2- (a- metilfenil) propanoico y 1-etil-4-(2-hidroxi) isobutilbenceno (Santibañez Villegas, 2014).

## CONCLUSIONES

Con respecto a los resultados obtenidos, se observó una concentración alta de ibuprofeno de 11600 mg/L a 11620 mg/L en cada tipo de suelo, sin embargo, los suelos S y B representan una mejor opción para la degradación del ibuprofeno por las características que poseen, con respecto al suelo M, tiene la capacidad de degradar un poco más al ibuprofeno, sin embargo, el tiempo en que sucede es un más largo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Correia de Soto, A. (2018). Environmental Behavior of Ibuprofen and Diclofenac in Venezuelan Soils.
- Freire Moncayo, P.S. (2018). Renoval of Paracetamol by Biosorption in Agitated Tank using Cocoa Husk and Sugarcane Bagasse.
- Grossberger A., Hadar Y., Borch T., Chefetz B. (2014). Biodegradability of pharmaceutical compounds in agricultural soils irrigated with treated wastewater. Volume 185, Pages 168177. Environmental Pollution.
- Lizcano Toledo, R., Olivera Viciado, D., Saavedra Mora, D., Machado Cuellar, L., Rolando Valencia, E., Moreno Pérez, M.F. and Fidel Flórez, M. (2017). Soil sampling, laboratory techniques and interpretation of soil analysis. National Apprenticeship Service.
- Marimón Vicente, L. (January 2017). Study of Composting as a Technique for the Elimination of Emerging Contaminants.
- Matkovic, S.R., Valle, G.M., Galle, M. and Briand, L.E. (2004). Development and Validation of the Quantitative Analysis of Ibuprofen in Tablets by Infrared Spectrophotometry. Acta Farm. Bonaerense 23 (4): 527-32.
- Official Mexican Standard, NOM-021-SEMARNAT-2000, which establishes the specifications of fertility, salinity and soil classification.
- Official Mexican Standard, NOM-092-SSA1-1994, Goods and services. Method for counting aerobic bacteria in plaque.
- Santibañez Villegas, S.R. (2014). Determination of the Degradation Kinetics of Diclofenac, Ibuprofen and their Mixture, at Room Temperature.
- X. Zhang, Y., Jiang, Z., Cao, B., Hu, M., Wang, Z. y Dong, X. (2011). Metabolic capacity and genetic characteristics of *Arthrobacter* sp., strain DNS10, the only strain to degrade atrazine in an isolated consortium of black soil.