

## **Modelos biológicos para determinar la ecotoxicidad del aceite de *Jatropha curcas* y sus derivados. Revisión**

Biological models to determinate the ecotoxicity of *Jatropha curcas* oil and its derivatives. Review

Taimi Bessy-Horruitiner<sup>1\*</sup> <https://orcid.org/0000-0001-7595-5547>

Carmen Gloria Dean-Galán<sup>2</sup> <https://orcid.org/0000-0002-6562-2420>

Daniela Beatriz Barbán-Ferrer<sup>3</sup> <https://orcid.org/0000-0003-0867-4002>

Claudia Arias-Rodríguez<sup>4</sup> <https://orcid.org/0000-0003-1105-8120>

Dunia Rodríguez-Heredia<sup>5</sup> <https://orcid.org/0000-0003-4676-7314>

<sup>1,2,3,5</sup> Facultad de Ingeniería Química y Agronomía, Universidad de Oriente. Santiago de Cuba, Cuba

<sup>4</sup> Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado, Universidad de Oriente. Santiago de Cuba, Cuba

\*Autor para la correspondencia. Correo electrónico: taimib@uo.edu.cu

### **RESUMEN**

El aceite de *Jatropha curcas* y sus derivados han sido productos de especial interés debido aplicaciones en la formulación de biolubricantes y biodiesel. Este contiene compuestos tóxicos como los ésteres de forbol, por lo que el objetivo es seleccionar los modelos adecuados para la determinación de la ecotoxicidad del aceite de *Jatropha curcas* y sus derivados. . Se realizó una investigación cualitativa para precisar los modelos empleados en la determinación de la toxicidad, se revisaron artículos científicos, tesis de maestría, doctorado, libros y otros, de los cuales se recopilaron los fundamentos que mostraron una visión clara y confiable del tema. Se realizó la revisión en bases de datos internacionales, Google académico, SciELO, Redalyc, Science Direct, así como en repositorios institucionales, con los descriptores *Jatropha curcas*, biomodelos, ecotoxicidad y modelos biológicos. . La información recopilada fue organizada y analizada aplicando los métodos de investigación análisis y síntesis, seleccionándose 65 contribuciones que constituyeron las más representativas Los principales biomodelos. utilizados por el compendio fueron

de autores *Lactuca sativa* y *Artemia salina* debido a su fácil manejo y bajo costos. Se concluye que el uso de modelos biológicos para determinar la ecotoxicidad de una sustancia es variado, demostrando que estos modelos son de innegable importancia. *Lactuca sativa* y *Artemia salina* son los más utilizados por el compendio de autores estudiados.

**Palabras clave:** *jatropha curcas*; biomodelos; ecotoxicidad.

#### **ABSTRACT**

*Jatropha curcas* oil and its derivatives have been products of special interest due to applications in the formulation of biolubricants and biodiesel. This contains toxic compounds such as phorbol esters, so the objective is to select the biomodels to be used to determine the level of toxicity of *Jatropha curcas* oil and its derivatives. A qualitative investigation was carried out to specify the models used in determining toxicity; scientific articles, master's theses, doctoral theses, books and others were reviewed, from which the foundations that showed a clear and reliable vision of the subject were compiled. The review was carried out in international databases, Google academic, SciELO, Redalyc, Science Direct, as well as in institutional repositories, with the descriptors *Jatropha curcas*, biomodels, ecotoxicity and biological models. The information collected was organized and analyzed applying analysis and synthesis research methods, selecting 65 contributions that were the most representative. The main biomodels used by the compendium of authors were *Lactuca sativa* and *Artemia salina* due to their easy handling and low costs. It is concluded that the use of biological models to determine the ecotoxicity of a substance is varied, demonstrating that these models are of undeniable importance. *Lactuca sativa* and *Artemia salina* are the most used by the compendium of authors studied.

**Keywords:** *jatropha curcas*; biomodels; ecotoxicity.

Recibido: 08/05/2024

Aceptado: 15/08/2024

## **Introducción**

La familia *Euphorbiaceae* es la sexta familia de plantas con flores más diversas, se encuentran distribuidas en la región tropical y subtropical. Las especies de esta familia se caracterizan por sus variaciones morfológicas.

El género *Jatropha*, pertenece a esta, con más de 70 especies, que destacan por su dureza, rápido crecimiento y fácil propagación.<sup>(1)</sup> La *Jatropha* tiene su origen histórico en América Central y partes septentrionales de América del Sur. La *J. curcas* es un árbol pequeño con corteza gris lisa. Tiene hojas grandes de verde pálido, alternas a sus opuestas. Puede alcanzar hasta 5 m de altura <sup>(2)</sup>, exuda látex blanquecino no muy espeso cuando su tallo o ramas son cortados. En sus flores, el peciolo mide entre 6 y 23 mm. Los frutos se producen en invierno. Las semillas maduran cuando su caparazón cambia de color verde a amarillo, 2 o 3 meses después de la floración, que ocurre en la época de lluvia, y la muda de hojas en la estación seca. <sup>(3)</sup> En Cuba, está presente en casi todas las provincias y la Isla de la Juventud. <sup>(4)</sup> *Jatropha curcas* puede propagarse en forma asexual o vegetativa; la propagación sexual por semillas es la más utilizada para el establecimiento de cultivos comerciales. <sup>(5)</sup>

La *Jatropha curcas* es una especie con aplicaciones biológicas, farmacológicas e industriales <sup>(6)</sup>. Se usa en la producción de medicamentos, jabón y cosméticos. Las semillas y el látex son empleados como cicatrizantes de heridas superficiales <sup>(5, 7)</sup>. La calidad de la semilla comprende aspectos genéticos, físicos y fisiológicos que determinan la calidad del aceite extraído de ellas. <sup>(8, 9)</sup> La torta de la semilla rica en proteína residual que podría ser un ingrediente importante en alimentos para animales <sup>(10)</sup> pero su uso se ve limitado por la presencia de compuestos tóxicos (ésteres de forbol) y antinutrientes (lectinas, curcinas, saponinas). <sup>(11, 12)</sup> Tradicionalmente, se usa para recuperar tierras o actuar como una cerca viviente. <sup>(13)</sup> Tiene el potencial de minimizar el consumo de combustibles fósiles. <sup>(14)</sup>

La composición mayoritaria del aceite de *Jatropha curcas* es de 64 % de triacilglicérols, 12 % de compuestos hidrocarbonados y 9 % de ácidos grasos libres <sup>(15, 16)</sup>; siendo los ácidos grasos saturados más abundantes el palmítico (16:0) (11,593%) y el esteárico (18:0) (6,724 %) y los ácidos grasos insaturados predominantes son: el linoleico (18,2) (49,467) y el oleico (18:1) (30,934 %). El contenido de metales pesados en el aceite es: Fe (0,515ppm), Sn (2,63ppm), Zn (0,05 ppm) y Cd (0,33 ppm). <sup>(17)</sup>

Las propiedades físico-químicas que caracterizan a este son: baja viscosidad cinemática 6,8 mm<sup>2</sup>/s y bajo contenido de azufre 13 mg/Kg. <sup>(18)</sup> Este aceite

contiene cantidades de ésteres de forbol (entre 2 y 8 mg por g de aceite), que no le permite su uso como alimento. <sup>(19)</sup> Los ésteres son derivados de los ácidos carboxílicos <sup>(20)</sup> y presentan alta toxicidad y son promotores del cáncer.

El rendimiento promedio en la extracción de aceite por el método Soxhlet fue de 40 % resultados similares reportados por Makkar *et al.* <sup>(21, 22)</sup> Este aceite tiene gran potencial como materia prima porque es renovable, no comestible y tiene múltiples usos <sup>(23)</sup> entre los que se encuentra el desarrollo de biolubricantes que respalden los objetivos de sostenibilidad en lo económico, ecológico y social. <sup>(24, 25)</sup>

El objetivo del trabajo es seleccionar los modelos adecuados para la determinación de la ecotoxicidad del aceite de *Jatropha curcas* y sus derivados.

## **Materiales y métodos**

Se realizó una investigación cualitativa para precisar los modelos empleados en la determinación de la toxicidad, se revisaron artículos científicos, tesis de maestría, doctorado, libros y otros, de los cuales se recopilaron los fundamentos que mostraron una visión clara y confiable del tema. Se realizó la revisión en bases de datos internacionales, Google académico, SciELO, Redalyc, Science Direct, así como en repositorios institucionales, con los descriptores *Jatropha curcas*, biomodelos, ecotoxicidad y modelos biológicos. La información recopilada fue organizada y analizada aplicando los métodos de investigación análisis y síntesis, seleccionándose 65 contribuciones que constituyeron las más representativas.

## **Resultados y discusión**

Existen numerosos bioensayos a nivel de laboratorio y de campo, regulados internacionalmente, que emplean diferentes organismos representativos de los diversos ecosistemas que van desde algas, bacterias, plantas vasculares, invertebrados, peces, aves, lombrices, mamíferos, entre otros. <sup>(26)</sup>

La toxicidad es la capacidad que tiene una sustancia química de producir efectos nocivos en los organismos vivos y depende de la cantidad administrada, vía de ingreso, y del daño ocasionado. <sup>(22, 27)</sup> Los ensayos ecotoxicológicos se realizan previo a la liberación de los productos al ambiente, ocupándose del estudio del efecto y destino de agentes tóxicos a los

ecosistemas.<sup>(28)</sup> Los bioensayos, como cualquier instrumento analítico, requieren ser calibrados.

Estos estudios han demostrado que distintas especies de organismos presentan un rango de sensibilidades a una diversidad de los contaminantes ambientales. Para que las pruebas puedan constituirse en una técnica de evaluación aceptada para los organismos seleccionados, debe conocerse su biología, presentar alta sensibilidad a los tóxicos, tener factibilidad de mantenerse in vitro y de la reproducibilidad de los ensayos.<sup>(28)</sup>

A continuación, se enumeran biomodelos experimentales empleados en estudios de toxicidad:

#### 1. *Rattus norvegicus* (ratas albinas) cepa *Wistar*

Las ratas *Wistar* son albinas, con un pelaje denso, totalmente blanco y unos característicos ojos rojos. Presentan una visión muy reducida y con frecuencia son ciegas. Se reproducen con facilidad, debido a que la rata hembra tiene un ciclo reproductor poliéstrico continuo de 4-5 días lo que hace significativamente más rápida la obtención de nuevos individuos para fines científicos. Son altamente sensibles al envenenamiento y a los tóxicos que ingieren, puesto que no pueden regurgitar ni vomitar nada de lo ingerido con anterioridad.<sup>(29)</sup>

Se han empleado para determinar la toxicidad aguda oral y potencial genotóxico del aceite de semillas de moringa<sup>(30)</sup>; en la evaluación de efectos hepatotóxicos asociados con la contaminación causada por aceite lubricante usado<sup>(31)</sup>; en la evaluación la actividad tóxica aguda del extracto etanólico de las semillas de *Jatropha curcas* en 25 ratas albinas macho cepa *Wistar*, registrando datos de estímulo sensitivo, reactividad ante la manipulación, evaluación de piel, pelaje, ojos, y del sistema nervioso central y los cambios histopatológicos mediante autopsias, con el fin de evaluar los cambios patológicos, macromorfológicos e histopatológicos<sup>(32)</sup>; entre otros.

#### 2. Peces

Los peces empleados en ensayos de toxicidad deben ser fáciles de criar y estar disponibles todo el año. Deben ser capaces de ser cultivados y alimentados en condiciones de laboratorio bajo condiciones controladas que garanticen la salud de los mismos. Las principales especies empleadas son: *Brachydanio reirio* (pez zebra), *Pimephales promelas* (carpita cabezona),

*Cyprinus carpio* (carpa común), *Oryzias latipes* (pez arroz), *Poecilia reticulata* (guppy), entre otros. <sup>(33)</sup>

Pez cebra: es un biomodelo cuyo funcionamiento de órganos ha sido bien estudiado y documentado. Ha sido empleado en el estudio de la toxicidad crónica de lubricantes formulados con salvado de arroz en el que este se mezcla con el alimento y se determina la mayor concentración de lubricante que no es tóxica para el animal. <sup>(34)</sup>

### 3. Microorganismos

Microorganismos procariotas como *Bacillus sp.*, *Staphylococcus aureus*, *Serratia marcescens*, *Vibrio fischeri* y la levadura *Saccharomyces cerevisiae* se han utilizado para realizar ensayos de toxicidad.

*Bacillus sp*: bacteria productora de endosporas resistentes al calor, se reportan alrededor de 336 especies de crecimiento aerobio, pH neutro, mesófilas, Gram positivas, de tamaño 0,5–1  $\mu\text{m}$  y diversidad metabólica. <sup>(35)</sup>

*Staphylococcus aureus*: tiene una gran capacidad de adaptación, por lo cual afectan a todas las especies conocidas de mamíferos, incluyendo a los roedores comunes de laboratorio. <sup>(36)</sup>

*Serratia marcescens*: bacteria Gram-negativa en forma de bacilo o varilla recta muy pequeña (0,5 y 1  $\mu\text{m}$  de diámetro y menor de 2  $\mu\text{m}$  de longitud), es móvil, facultativamente anaerobio. Se encuentra en agua dulce y estancada o salina, en el suelo, en las plantas, insectos y animales. Tiene una patogenicidad conocida para la vida no vegetal que se hace aún más potente gracias a su característica de resistir a múltiples antibióticos. <sup>(37)</sup>

*Saccharomyces cerevisiae*: levadura del grupo de los ascomicetos, unicelular y generalmente de células ovaladas. Son de mayor tamaño que las bacterias, alcanzando un diámetro máximo de entre 4 y 5  $\mu\text{m}$ . En la naturaleza se encuentra sobre sustratos ricos en azúcares o en los exudados y savias dulces de algunas plantas <sup>(38)</sup>.

En estos microorganismos se estudiaron los efectos citotóxicos de diferentes contaminantes emergentes sobre su crecimiento, siendo *Staphylococcus aureus* es el más afectado por los contaminantes empleados en el estudio. <sup>(39)</sup>

#### 4. Microalgas

Las microalgas son organismos fotosintéticos unicelulares capaces de generar biomasa orgánica a partir de luz y el CO<sub>2</sub> y son imprescindibles en el mantenimiento de la vida en la tierra al proporcionar el 50 % del oxígeno que se requiere para respirar. Son consideradas una estrategia tecnológica dado su posible uso en la alimentación animal y humana, cosméticos, fuente de productos farmacéuticos, entre otros. <sup>(40)</sup> Son excelentes organismos para realizar ensayos de toxicidad, ya que su manejo en cultivo es simple, además estos bioensayos son rápidos y de bajo costo. Además de su crecimiento, manipulación y grado de sensibilidad. <sup>(41)</sup>

*Isochrysis galbana*: pertenece a la clase *Haptophyceae*, célula flagelada de color amarillo, no tóxica, tiene un tamaño de 5-6 x 2-4 µm (largo x ancho). Es rica en proteínas, aminoácidos esenciales y ácidos grasos. <sup>(42)</sup> Las pruebas de toxicidad demuestran que esta microalga detecta diferentes niveles de toxicidad, por lo que se podría emplear para evaluar ambientalmente muestras de sedimento marino como complemento a pruebas químicas, ya que no se discrimina el origen de la toxicidad. <sup>(35, 38)</sup>

*Nannochloropsis oceanica*: pertenece a la clase *Eustigmatophyceae*. Es una microalga unicelular con formas cilíndricas que van de los 2 a 5µm, con cloroplastos que van del amarillo al verde. Importante organismo alimentario para la acuicultura, se reproduce muy rápido y posee ácidos grasos que no se encuentran en otros tipos de fitoplancton. Estos microorganismos son el primer eslabón de la cadena trófica en los ecosistemas acuáticos y ayudan a la estabilidad de estos. <sup>(40)</sup>.

Se realizaron pruebas de toxicidad con elutriados de sedimentos marinos empleando las microalgas *Isochrysis galbana* y *Nannochloropsis oceánica*. <sup>(19, 43)</sup> Además, se han empleado para evaluar la toxicidad y el riesgo ambiental que los filtros ultravioletas, ampliamente utilizados en cosmética y como aditivos plásticos, ocasionan al medio marino; para la evaluación de la calidad de sedimentos contaminados por productos farmacéuticos. <sup>(41)</sup>

#### 5. Crustáceos (*Artemia* sp., *Daphnia magna*)

Los invertebrados acuáticos son buenos bioindicadores que se utilizan para evaluar la calidad de los ecosistemas acuáticos. <sup>(44)</sup>

Según Seatame (2018), el género *Artemia* está comprendido por crustáceos originarios del centro y norte de América que poseen un caparazón blando. Su tamaño oscila entre 10 y 20 mm dependiendo del sexo y de la especie. Está distribuidas en todo el mundo, con la excepción de la Antártida. Suele vivir en ambientes hipersalinos y salinas operadas por el hombre. Su adaptación a estos ambientes hostiles se rige por sus habilidades osmorregulatorias únicas y por la producción de quistes (embriones envueltos en un corion).<sup>(45)</sup>

Son de gran importancia para la acuicultura al constituir un óptimo alimento vivo por su alto valor nutricional y su fácil manejo, siendo una gran fuente de proteínas para larvas de peces y crustáceos. Se puede emplear como bioindicador para ensayos de toxicidades al poseer ciclos cortos, ser eficiente, de bajo costo, de fácil estudio, con gran sensibilidad frente a un amplio rango de compuestos con actividad biológica y sus diversas estructuras químicas<sup>(46)</sup>.

Se han empleado los quistes, las larvas eclosionadas de huevos desecados y desenquistados y ejemplares adultos de *Artemia* para determinar la toxicidad al Malathion (dietil succinato)<sup>(47)</sup>, en la evaluación de agentes químicos (fenol, p-nitroanilina, cloroformo, metanol, etanol, y acetona)<sup>(26)</sup>, en ensayo de toxicidad aguda de compuestos de referencia (dicromato de potasio y sulfato de cobre)<sup>(28)</sup>, en investigaciones de la toxicidad producida por simvastatina, carbamazepina y mezcla de estos con microplásticos<sup>(48)</sup>, en estudio fitoquímico cualitativo de los extractos de las hojas de *Justicia secunda Vahl*.<sup>(49)</sup>

*Daphnia magna* es una especie de crustáceo planctónico del suborden de los cladóceros que de adulto mide hasta 5 o 6 mm. Se le conoce como pulga de agua, se alimenta de fitoplancton y habita en agua dulce. Su cuerpo está protegido por un caparazón traslúcido de quitina. Produce un alto número de crías y supone una alternativa a los bioensayos con mamíferos.<sup>(50)</sup> Es uno de los más utilizados en los bioensayos de ecotoxicología ya que tiene un ciclo de vida corto, su cultivo es de fácil manejo.<sup>(44)</sup> Tienen una alta sensibilidad al estrés ambiental producido por sustancias químicas o alteraciones en los parámetros del medio en el que habita.<sup>(51)</sup>

Se han llevado a cabo ensayos de toxicidad aguda al paracetamol y al ibuprofeno exponiendo a neonatos del organismo *Daphnia magna* a dosis crecientes de estos fármacos durante 24 horas.<sup>(52)</sup> Se observó que existen distintos efectos subletales relacionados con la actividad enzimática, la

reproducción y la fisiología de *Daphnia magna*. En relación a la mortalidad, a concentraciones ambientalmente no relevantes son más altas de las medidas en muestras de agua. La evidencia de efectos de tipo subletal hacen pensar que la repercusión debe ser analizada en términos de medio y largo plazo <sup>(50)</sup>.

## 6. Plantas

Entre las plantas más empleadas en estudios de

*Lactuca sativa* (lechuga): es una hortaliza de hoja anual de la familia *Asteraceae*. Es ampliamente conocida y se cultiva en casi todo el mundo <sup>(53)</sup>.

Es una planta de crecimiento rápido, de pequeño tamaño, fácil de mantener en el laboratorio y de bajo costo <sup>(54)</sup> y por ser un organismo sensible y por su elevado por ciento de germinación. <sup>(55)</sup>

Se han empleado en estudios de toxicidad de plaguicidas organofosforados <sup>(56)</sup>, ensayo de toxicidad aguda de compuestos de referencia (dicromato de potasio y el sulfato de cobre), <sup>(28)</sup> de compuestos salinos (NaCl, KCl and K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) en los procesos germinativo y de crecimiento radicular <sup>(57)</sup>, en el estudio del efecto fitotóxico de fracciones del crudo extrapesado (saturados y aromáticos), <sup>(54)</sup> y el efecto citotóxico de los lubricantes minerales (Havoline SJ, SAE 25W-50 Texaco), lubricantes sintéticos (Lubrux SW-40 Petrobrás) y aceites lubricantes usados <sup>(55)</sup> y biolubricantes hidráulicos formulados con aceite de *Jatropha curcas* modificado en semillas de lechuga, <sup>(58)</sup> entre muchos otros.

## 7. Lombrices de tierra

Las especies estrechamente relacionadas *Eisenia fetida* y *Eisenia andrei* (Oligochaeta, Lumbricidae) son las más comúnmente utilizadas para el manejo de residuos orgánicos, y también en estudios de ecotoxicología, fisiología y genética, principalmente porque son ubicuas con una distribución mundial, sus ciclos de vida son cortos, tienen un amplio rango de tolerancia a la temperatura y la humedad y son lombrices resilientes que pueden ser manipuladas fácilmente. Son dos especies biológicas diferentes con diferentes historias de vida. <sup>(59)</sup>

Hernández en el 2022 empleó especímenes de la especie *Eisenia fetida*, para evaluar la toxicidad aguda del IHPLUS®. La evaluación de los signos de toxicidad en *Eisenia fetida* se realiza contando las lombrices que responden a la aplicación de un estímulo mecánico y se observa el aspecto macroscópico de cada individuo para detectar posibles alteraciones (daños en la región del

clitelo, pérdida o reducción de movimiento, cambio de coloración y presencia de abultamientos o constricción en los anillos en diferentes áreas del cuerpo). Además, se pesan las lombrices individualmente al inicio y final del ensayo, constituyendo la diferencia un punto final de evaluación <sup>(60)</sup>.

#### 8. Nemátodos:

Zhang (2020) describe al *Caenorhabditis elegans* como un nemátodo inofensivo y de vida libre que se alimenta de microorganismos el cual es económico y fácil de mantener en entornos de laboratorio. Los adultos hermafroditas autofertilizantes de 1 mm de largo con un ciclo reproductivo de 2,5 a 4 días a temperatura ambiente y una vida media de aproximadamente 18-20 días cuando se cultiva a 20°C. <sup>(61)</sup> *Caenorhabditis elegans* se puede mantener y expandir en condiciones de laboratorio con procedimientos relativamente sencillos y proporcionan datos a diferencia de los modelos celulares o microorganismos. <sup>(62)</sup>

Las características que presenta este organismo modelo es ser multicelular, ciclo de vida corto, fácil crecimiento en el laboratorio y con una numerosa descendencia para poder hacer estudios genéticos y estadísticos, que lo hace un excelente organismo para realizar ensayos de laboratorio orientados hacia la identificación de contaminantes tóxicos en los ambiente marinos y terrestres. Es posible sincronizar los gusanos de *Caenorhabditis elegans* para que inicien su desarrollo en un mismo estadio al mismo tiempo, de manera que puedan obtenerse poblaciones uniformemente desarrolladas en sus estadios larvarios. La mortalidad, el crecimiento y la reproducción son indicadores directos del grado de toxicidad que puede ejercer una sustancia sobre un organismo vivo; por ello se sugiere su uso durante la ejecución de bioensayos orientados al conocimiento de este aspecto. En tal sentido los resultados de exposición durante 24 horas para mortalidad y reproducción y para crecimiento 3 días. *Caenorhabditis elegans* se empleó como bioindicador de los niveles de toxicidad de aguas y sedimentos. <sup>(63)</sup>

#### 9. Moluscos

*Physa cubensis* pertenece género *Physa*. Habita en quebradas, ríos y charcas de aguas poco agitadas, activos sobre hojarasca, piedras, algas en los fondos lodosos. La gran mayoría de estos caracoles son herbívoros. Son presa de diferentes organismos como insectos, peces, anfibios y aves, siendo un

eslabón importante en las cadenas tróficas de los ecosistemas donde se encuentran. Estos caracoles tienen una duración de vida entre 22-88 semanas, posterior a la eclosión. <sup>(64)</sup> Se han empleado en la ecotoxicidad aguda de antibacterianos. <sup>(65)</sup>

## Conclusiones

Son diversos los modelos biológicos empleados en la determinación de la ecotoxicidad de las sustancias, demostrando su innegable importancia. De esta revisión bibliográfica se aprecia que la *Artemia salina* y la *Lactuca sativa* son de los biomodelos más utilizados por el compendio de autores estudiados, aunque existen otros biomodelos que por su rapidez y exactitud también podrían ser recomendados en dependencia del medio en el que se vaya a realizar el estudio.

## Referencias bibliográficas

1. CHÁVEZ-FLORES, J.E., *et al.* Evaluación del efecto antibacteriano del látex de *Jatropha curcas* “piñón” frente a *Staphylococcus aureus*. *Duazary*. 2019, **16**(1). 105-114. ISSN: 2389-783X <https://doi.org/10.21676/2389783X.2533>
2. OSPINA, A.M.C., *et al.* Obtención de biodiesel a partir de aceite de *Jatropha Curcas* L por transesterificación etanólica. *Investigaciones Aplicadas*. 2011, **5**(1).34-41. ISSN 2011-0413 <http://revistas.upb.edu.co/index.php/investigacionesaplicadas/article/view/801>
3. GAMBOA-TORRES, R.G. *Revisión del estado del arte del desempeño y las emisiones de motores de combustión interna operando con biodiesel o aceite de Jatropha*. 2018. <https://repository.libertadores.edu.co/server/api/core/bitstreams/4b196fe7-3ef5-489c-87d9-c8c46b1b02ff/content>
4. GUILARTE, L.d.I.C.D. Potencial energético de las cáscaras de semillas de *Jatropha curcas* y *Moringa oleífera*: e13. *Revista Estudiantil Nacional de Ingeniería y Arquitectura*. 2020, **1**(3). ISSN: 2307-471X <https://renia.cujae.edu.cu/index.php/renia/article/download/13/12>
5. CAMPUZANO-DUQUE, L.F. y CARDEÑO-LÓPEZ F. Propiedades químicas del aceite de cinco genotipos de *Jatropha curcas* L., en Colombia. *Agronomía Mesoamericana*. 2022, **33**(1). 1-12. e-ISSN 2215-3608, doi:10.15517/am.v33i1.44555

6. RODRÍGUEZ-CALLE, R.M., *et al.* Caracterización química de la cáscara del fruto de *Jatropha curcas*. Terra Latinoamericana. 2022. **40**. ISSN 2395-8030 <https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.958>
7. MÉNDEZ-LÓPEZ, A., CÓRDOBA-TÉLLEZ L., y SÁNCHEZ-VEGA M. El envejecimiento acelerado afecta la calidad fisiológica y bioquímica de la semilla de *Jatropha curcas*. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 2020, **23**. p. 25. ISSN: 1870-0462 <https://acortar.link/NaPR74>
8. SALAS, J., *et al.* Actividad cicatrizante del latex de *Jatropha curcas* (*Angiospermae: Euforbiaceae*). *Revista de biología tropical*. 1994. 323-326. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/rbt/article/download/23203/23535>
9. BERCHMANS, H.J. y HIRATA S. Biodiesel production from crude *Jatropha curcas* L. seed oil with a high content of free fatty acids. *Bioresource technology*. 2008, **99**(6). 1716-1721. doi:10.1016/j.biortech.2007.03.051
10. PEDRAZA-SÁNCHEZ, E.A. y CAYÓN-SALINAS D.G. Caracterización morfofisiológica de *Jatropha curcas* L. variedad Brasil cultivada en dos zonas de Colombia. *Acta Agronómica*. 2010, **59**(1). 30-36. ISSN 0120-2812 <https://acortar.link/Dxz9H0>
11. DÍAZ-VELÁZQUEZ, M., *et al.* Influencia del campo magnético y el catalizador ácido en las propiedades de los productos de epoxidación del éster metílico del aceite de *Jatropha curcas* L. *Tecnología Química*. 2018, **38**(1). 101-110. ISSN 2224-6185 <http://scielo.sld.cu/pdf/rtq/v38n1/rtq08118.pdf>
12. MARIO, R., D.M., HUAROTO, y Espinoza L.F. Determinación de ésteres de forbol en semilla de *Jatropha Curcas* de la Región Piura del Perú. 2018. [https://www.laccei.org/LACCEI2018-Lima/work\\_in\\_progress/WP538.pdf](https://www.laccei.org/LACCEI2018-Lima/work_in_progress/WP538.pdf)
13. de JESÚS FLORES-CHILEL, T., *et al.* *Detoxificación de la torta residual de Jatropha curcas* L. mediante hongos endófitos. 2020. <http://biociencias.unach.mx/ibciencias/doc/articulo1volumen3b.pdf>
14. JATROPHA, T., *Estado del arte en la ciencia y tecnología para la producción y procesamiento de Jatropha no tóxica*. 2015. SBN: 978-607-37-0494-6 <https://acortar.link/FCVx4Z>
15. FRANCO-PÉREZ, J., *et al.* Epoxidación del aceite vegetal de *Jatropha curcas* L. con ácido peracético. *Tecnología Química*. 2018, **38**(2). 380-385. ISSN 2224-6185 <http://scielo.sld.cu/pdf/rtq/v38n2/rtq15218.pdf>

16. VERA, J.R.M., et al. Epoxidación del aceite vegetal de *Jatropha curcas* L. con ácido fórmico, de la provincia de Manabí, Ecuador. *Revista Bases de la Ciencia*. 2021, **6**(3). 21-32. ISSN 2588-0764 <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Basedelaciencia/article/download/4125/4341>
17. BESSY-HORRUITINER, T., et al. Biodegradabilidad aerobia del aceite de *Jatropha curcas* y de una biograsa formulada con él como base. *Revista Centro Azúcar*. 2019, **46**(5). 37-42. e-ISSN: 2223-4861 [http://centroazucar.uclv.edu.cu/index.php/centro\\_azucar/article/view/179](http://centroazucar.uclv.edu.cu/index.php/centro_azucar/article/view/179)
18. REYES-NARVÁEZ, E.G., *Diseño de un proceso para la obtención de biodiésel a partir del aceite Jatropha curcas con metil acetato en condiciones supercríticas en presencia de ZnO como catalizador de reacción*. 2022. <https://acortar.link/jyfomE>
19. NOLASCO, E.D., *Evaluación de cuatro métodos de extracción de aceite de la semilla de piñón (Jatropha curcas) var. Cabo Verde y cuantificación de sus ésteres de forbol*. 2015. <https://acortar.link/7lnBM9>
20. CARRIEL-LOOR, A.N. y REYES-SOSA Y.C. *Análisis bibliográfico del uso de esteroides de forbol de semilla Jatropha curcas (piñón) para control de plagas del sector agrícola*. 2020, Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Químicas. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/50929>
21. NEUPANE, D., et al. Growing *Jatropha* (*Jatropha curcas* L.) as a potential second-generation biodiesel feedstock. *Inventions*. 2021, **6**(4). p. 60. ISSN: 2411-5134 <https://doi.org/10.3390/inventions6040060>
22. ARECE-GARCÍA, J., et al. Actividad ovicida in vitro de la fracción rica en glicerol de *Jatropha curcas* L. en nematodos gastrointestinales de ovejas. *Pastos y Forrajes*. 2022. **45**. ISSN 2078-8452 [http://scielo.sld.cu/pdf/pyf/v45/en\\_2078-8452-pyf-45-e18.pdf](http://scielo.sld.cu/pdf/pyf/v45/en_2078-8452-pyf-45-e18.pdf)
23. SOTELO-NAVARRO, P.X., et al. Impactos ambientales de una biorrefinería HMZS-NN. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 2022. **38**. 48-57. ISSN-p: 0188-4999 <https://doi.org/10.20937/RICA.54332>

24. MAKKAR, H.P., K. BECKER, y SCHMOOK B. Edible provenances of *Jatropha curcas* from Quintana Roo state of Mexico and effect of roasting on antinutrient and toxic factors in seeds. *Plant Foods for Human Nutrition*. 1998, **52**. 31-36. ISSN: 09219668 <https://acortar.link/MqmiHT>
25. OVANDO-CHACÓN, S. Extracción enzimática del aceite de *Jatropha curcas* L., *Oecopetalum mexicanum* y *Pistacia vera*. *Agro Productividad*. 2018, **11**(7). e-ISSN: 2594-0252 <https://acortar.link/gVPLOn>
26. GONZÁLEZ-PÉREZ, Y., et al. Predicción Ambiental de agentes químicos combinando herramientas computacionales y biomodelos ecotoxicológicos. *Orange Journal*. 2022, **4**(7). 33-44. ISSN 2710-995X <https://doi.org/10.46502/issn.2710-995X/2022.7.03>
27. HARO-CALVO, J.A. y MORENO-MORALES K.V. Caracterización fisicoquímica y toxicidad in vitro de la oleorresina de *Copaifera reticulata* “copaiba”. 2021. <https://acortar.link/iZBRjG>
28. MARRERO, O., et al. Bioensayo de toxicidad aguda en tres biomodelos utilizando compuestos de referencia. *Revista de Toxicología*. 2019, **36**(2). 128-133. ISSN: 0212-7113 <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91967023007>
29. MONTERO, J. L., et al. (2008). Bloque B. Biología Básica y mantenimiento del animal de experimentación. En: Zúñiga, J.M., Tur J.A. & Orellana, J. M., Eds., *Ciencia y Tecnología del animal de Laboratorio* (pp. 79 - 209). Alcalá, España: Secal.
30. ABASCAL, V. L., et al. Evaluación de la actividad biológica del aceite de semillas de *Moringa oleífera*. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*. 2023, **27**(3). ISSN: 1028-4796 <https://revplantasmedicinales.sld.cu/index.php/pla/article/view/1382>
31. PATRICK-IWUANYANWU, K.; OGWE, G.; ONWUKA, F. The hepatotoxic effects of the water-soluble fraction of spent lubricating oil in *Wistar albino* rats. *The Internet Journal of Toxicology*. 2010, **7**(2). ISSN: 1559-3916 <https://acortar.link/nR88Wd>
32. GONZÁLEZ, R. J., BOHÓRQUEZ-MERCADO, J., MÁRQUEZ-VIZCAÍNO, R. L., y DE LA ROSA-TORRES, C. Fitoquímica preliminar y evaluación de la toxicidad aguda de las semillas de *Jatropha curcas* Linneo. *Actualidades*

- Biológicas*. 2005, **27**(1). 109-111. ISSNe 2145-7166  
<https://revistas.udea.edu.co/index.php/actbio/article/view/331569>
33. OECD Guideline for testing of Chemicals Fish, acute toxicity test. Organization for Economic Co-operation and Development. 2006 OECD Guidelines for the Testing of Chemical; Organization for Economic Co-operation and Development: Paris, France, 2006.  
<https://www.oecd.org/chemicalsafety/risk-assessment/1948241.pdf>
34. RANI, S. The evaluation of lubricant properties and environmental effect of bio-lubricant developed from rice bran oil. *International Journal of Surface Science and Engineering*. 2017, **11**(5). 403-417. eISSN: 1749-7868 <https://doi.org/10.1504/IJSURFSE.2017.088122>
35. BOCANEGRA-DURÁN, S.N. Revisión documental sobre Bioformulaciones a base de *Bacillus* sp. para el control biológico de *Botrytis Cinerea*. 2021.  
<https://acortar.link/i199LT>
36. ZENDEJAS-MANZO, G.S., AVALOS-FLORES H., y Soto-Padilla M.Y. Microbiología general de *Staphylococcus aureus*: Generalidades, patogenicidad y métodos de identificación. *Revista Biomédica*. 2014. **25**(3). 129-143. ISSN 2007-8447  
<https://www.medigraphic.com/pdfs/revbio/bio-2014/bio143d.pdf>
37. LOYOLA-PAREDES, G.M. Efecto de tres concentraciones de glucosa como fuente de carbono en el crecimiento de *Serratia marcescens* y la formación del pigmento “prodigiosina”. 2021.  
<https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/2992226>
38. FUENTES-GUTIÉRREZ, K.M., G. OLIVARES-FLORES y González-Hernández, J.C. *Saccharomyces cerevisiae*: una nueva alternativa como suplemento alimenticio en el ganado. *Milenaria, Ciencia y arte*. 2022, (19). 32-34. ISSN: 2954-4289  
<https://www.milenaria.umich.mx/ojs/index.php/milenaria/article/download/230/137>
39. MONTES de OCA-MÉNDEZ, E. Toxicidad de contaminantes emergentes sobre microorganismos: estudio de la concentración inhibitoria mínima. 2019.  
<https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/24226/MontesDeOcaMen dez Evelyn TFG 2019.pdf>
-

40. DURANGO, Y.H., Microalga *Nannochloropsis* sp y la importancia de la ruptura de la pared celular para liberar y cuantificar metabolitos de interés (lípidos y proteínas). *Revista Urabá Académica*. 2020, **1**(1). 5-9. ISSN: 2981-4901 <https://acortar.link/IJDcoy>
41. LÓPEZ, H., MIGLIO, M.C. y Paredes, C. Pruebas de toxicidad con elutriados de sedimento marino de las bahías Los Chimus, Tortugas y Casma en Perú empleando las microalgas *Isochrysis galbana* y *Nannochloropsis oceanica*. *Ecología Aplicada*. 2021, **20**(2). 169-177. ISSN: 1993-9507 <https://doi.org/10.21704/rea.v20i2.1807>
42. ALARCÓN-PIEDRA, S.J.N. y ROQUE-CORTEZ J.S. Efecto de la incorporación de Microalgas (*Arthrospira platensis* e *Isochrysis galbana*) en el contenido Proteico de pastas tipo Spaghettis. 2018. <https://acortar.link/TphTeU>
43. GARCÍA-NOLAZCO, V., Á. PEREA de la MATTA, y OROZCO-MOREYRA R. Calidad del ambiente marino y costero en la Región Áncash, 2018. 2019. ISSN:0458-7766 <https://revistas.imarpe.gob.pe/index.php/boletin/article/download/273/263>
44. CASTIGLIONI, M., y COLLINS, P. Efecto de un detergente biodegradable en agua en la reproducción de *Daphnia magna*. *The Biologist*. 2010, **8**(1). 43-53. ISSN 1816-0719 <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3989993.pdf>
45. MOHAMMES, G.S. Estudio de la biometría y los parámetros de eclosión de quistes de *Artemia* recogidos en diferentes salinas de Argelia. *Revista AquaTIC*. 2021, (56). 1-14. ISSN 1578-4541 <http://revistaaquatic.com/ojs/index.php/aquatic/article/viewFile/383/357>
46. SAETAMA, V., et al. Evaluación toxicológica de soluciones acuosas de ibuprofeno mediante bioensayos con *Artemia salina*, *Allium schoenoprasum* L y *Lactuca sativa*. *Revista de Toxicología*. 2018, **35**(2). 112-118. <https://www.redalyc.org/journal/919/91960137006/html/>
47. ZAFRA-TRELLES, A. M. Concentración letal media en *Artemia salina*, a diferente dosificación de Malathion “Dietil succinato”. 2022. <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3114421>

48. ARANDA-QUIRÓS, V. Toxicidad de los fármacos simvastatina y carbamazepina asociados a microplásticos en adultos de *Artemia salina*. 2019. <http://hdl.handle.net/10498/22407>
49. LÓPEZ, T., MORILLO, M., VISBAL, T., y CARMONA, J. Estudio fitoquímico, actividad antioxidante y toxicidad sobre *Artemia salina* de los extractos de las hojas de Justicia secunda Vahl.(Acanthaceae), recolectada en Mérida-Venezuela. Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas. 2022, **51**(1). ISSN: 1909-6356 <https://doi.org/10.15446/rcciquifa.v51n1.95333>
50. BURGA, K., et al. Evaluación ecotoxicológica de pesticidas organofosforados sobre *Daphnia magna*. En: Anales científicos. 2009. e-ISSN: 1909-6356 <http://dx.doi.org/10.15446/rcciquifa.v51n1.95333>
51. IANNACONE, J. y Alvariño L. Ecotoxicidad acuática de dos colorantes y de tres antiparasitarios de importancia en acuicultura en *Daphnia magna*. *Ecología Aplicada*. 2007, **6**(1-2). 101-110. ISSN 1726-2216 <http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v6n1-2/a12v6n1-2.pdf>
52. RODRÍGUEZ-ANDUJAR, A. B. Compuestos farmacéuticos en ecosistemas acuáticos: evidencias de su toxicidad en el organismo modelo *Daphnia magna*. trabajo de fin de master. 2020. pág. 1-72. Universidad de Jaén. España <https://acortar.link/Vhf9NS>
53. LÓPEZ-SUÁREZ, Y.C. Efecto de las dosis de bioestimulante y variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.) sobre las características morfológicas y rendimiento cultivadas en dos zonas de la Provincia de Chincheros-Apurímac. 2019. <https://acortar.link/pDAcFc>
54. PERNÍA, B., et al. Fitotoxicidad de HAP, crudos extra pesados y sus fracciones en *Lactuca sativa*: una interpretación integral utilizando un índice de toxicidad modificado. Revista internacional de contaminación ambiental. 2018, **34**(1). 79-91. ISSN: 0188-4999 <https://doi.org/10.20937/rica.2018.34.01.07>
55. TAMADA, I. S., et al. Biodegradation and toxicological evaluation of lubricant oils. *Brazilian archives of biology and technology*. 2012, **55**. 951-956. ISSN: 1678-4324 <https://doi.org/10.1590/S1516-89132012000600020>

56. TERÁN-CRUZ, A. Análisis cromatográfico de gases para determinar la toxicidad según la concentración de disolventes en la hortaliza *Lactuca sativa* (lechuga). 2020. Universidad César Vallejo. Trabajo de investigación para obtener el grado académico de Bachiller en Ingeniería ambiental. Perú. <https://acortar.link/2ckVp1>
57. REINA, S., CORREA, M., FREIRE, D. Toxicidad producida por compuestos salinos en el proceso de Germinación de *Lactuca sativa*. *Revista Minerva de investigación científica*. 2020, 1(1). 5-12. ISSN 2697-3650 <http://10.47460/minerva.V1i1.1>
58. REYES-ÁLVAREZ, G., BESSY-HORRUITINER, T. y ARIAS-LAFARGUE, T. Estudio preliminar de la toxicidad aguda de biolubricantes hidráulicos formulados con aceite de *Jatropha curcas* modificado. *Revista Centro Azúcar*. 2023, 50(2). p. e1016. ISSN: 2223-4861 <http://scielo.sld.cu/pdf/caz/v50n2/2223-4861-caz-50-02-e1016.pdf>
59. DOMÍNGUEZ, J., VELANDO, A. y FERREIRO, A. ¿Are *Eisenia fetida* (Savigny, 1826) and *Eisenia andrei* (Oligochaeta, Lumbricidae) different biological species *Pedobiología*. 2005, 49(1). 81-87. ISSN: 1873-1511 <http://10.1016/j.pedobi.2004.08.005>
60. HERNÁNDEZ, Z.A.C., et al. Evaluación de la toxicidad aguda del IHPLUS® sobre *Eisenia fetida*. *Revista Ciencias Agronómicas*. 2022, (39). p. e019-e019. ISSN 2250-8872 <https://doi.org/10.35305/agro39.e019>
61. ZHANG, S. *Caenorhabditis elegans* como modelo útil para estudiar mutaciones del envejecimiento. *Frontiers in Endocrinology*. 2020, 11. 1-9. ISSN: 1664-2392 <https://doi.org/10.3389/fendo.2020.554994>
62. BENITO-NACIR, M.J., et al. Caracterización de la toxicidad de hongos alterantes de alimentos utilizando *Caenorhabditis elegans*. 2018. <https://acortar.link/z4vPHQ>
63. GONZÁLEZ, V., et al. *C. elegans* como organismo modelo en estudios de la toxicidad ambiental en agua y sedimentos. Conference Proceedings (Machala). 2018. <http://investigacion.utmachala.edu.ec/proceedings/index.php/utmach/article/download/308/252>

64. ARIAS-PINEDA, J.Y., et al. Descripción del desarrollo embrionario de *Physa cubensis* (pfeiffer, 1939) (pulmonata: physidae), en la sabana de Bogotá, Colombia. 2019. ISSN- 1994-9073 <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9397927.pdf>
65. MARTÍNEZ-HERNÁNDEZ, EM., et al. Ecotoxicidad aguda en *Physa cubensis* P. y *Artemia salina* L. de 8 antibacterianos con riesgo ambiental. *Revista de Toxicología*. 2017, **34**(2). 118-123. ISSN: 0212-7113 <https://www.redalyc.org/pdf/919/91954641006.pdf>

### **Conflicto de interés**

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

### **Contribución de los autores**

Taimi Bessy Horruitiner: Concibió la idea del artículo, investigó los fundamentos teóricos, colaboró con la revisión y escritura del artículo.

Carmen Gloria Dean Galán: investigó los fundamentos teóricos, revisó y organizó la bibliografía y escribió el artículo.

Daniela Beatriz Barbán Ferrer: Colaboró con la revisión y escritura del artículo.

Claudia Arias Rodríguez: Colaboró con la revisión y escritura del artículo.

Dunia Rodríguez Heredia: Colaboró con la revisión y escritura del artículo.