

Toxicidad de cosméticos de sombras de ojos de elaboración industrial y orgánica en *Daphnia magna* (crustácea: cladóceras)

Toxicidade de cosméticos de sombra industriais e orgânicos em *Daphnia magna* (crustáceo: cladocera)

*Industrial and organic eyeshadows toxicity in *Daphnia magna* (crustacea: cladocera)*

Ana María Vallejo Rivera¹, Guadalupe Barrera-Escorcía¹, Mario Alejandro Muñoz-Nájera²

¹ Departamento de Hidrobiología, Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Iztapalapa, México.

² Centro Universitario UAEM Nezahualcóyotl, Universidad Autónoma del Estado de México. Ciudad Nezahualcóyotl, México.

Cita: Vallejo Rivera AM, Barrera-Escorcía G, Muñoz-Nájera MA. Toxicidad de cosméticos de sombras de ojos de elaboración industrial y orgánica en *Daphnia magna* (crustácea: cladóceras). Rev Salud ambient. 2023; 23(2):113-121.

Recibido: 17 de febrero de 2022. **Aceptado:** 15 de junio de 2023. **Publicado:** 15 de diciembre de 2023.

Autor para correspondencia: Ana María Vallejo Rivera.
Correo e: anamaria.vallejo.rivera@gmail.com

Financiación: Sin apoyo financiero o beca otorgada por alguna institución para la realización de la investigación.

Declaración de conflicto de intereses: Los autores declaran que no existen conflictos de interés asociados con esta publicación.

Declaraciones de autoría: Los autores declaran que todos contribuyeron en el diseño del estudio, ejecución, análisis de resultados y redacción del artículo postulado.

Resumen

Los cosméticos son considerados actualmente como un contaminante emergente. Un ejemplo de ello son las sombras de ojos, de las cuales se desconocen sus efectos en los organismos acuáticos. Se realizó un estudio para determinar la toxicidad de las sombras de ojos de color amarillo de elaboración industrial y orgánica, utilizando *Daphnia magna* como bioindicador. Se colocaron 5 organismos en cada una de las tres réplicas y las concentraciones utilizadas fueron 187 x 103 µg/L, 375 x 103 µg/L, 750 x 103 µg/L, 1 500 x 103 µg/L y 3 000 x 103 µg/L y dos controles negativos, uno con agua reconstituida más acetona y otro solo con agua reconstituida. La CL50 fue de 87,90 µg/L para el tóxico de referencia (dicromato de potasio) y de 124 x 103 µg/L para las sombras de ojos de elaboración industrial. No se logró determinar la CL50 para el ensayo con sombras de elaboración orgánica debido a que la mortalidad no rebasó el 6,70 %. Los valores revelaron una mayor sensibilidad de los organismos de prueba hacia las sombras de elaboración industrial respecto a las orgánicas. Si bien las sombras amarillas de elaboración industrial son menos tóxicas que otros colores como las rojas, estas también incorporan parabenos y otros compuestos que son tóxicos. En México no hay normas que limiten la presencia de las sombras y sus compuestos en ambientes acuáticos. Este trabajo aporta información inexistente para México.

Palabras clave: contaminantes emergentes; *Daphnia magna*; sombras de ojos; bioensayos.

Resumo

Os cosméticos são atualmente considerados como um poluente emergente. Um exemplo disso são as sombras para os olhos, cujos efeitos sobre os organismos aquáticos são desconhecidos. Foi realizado um estudo para determinar a toxicidade de sombras amarelas industriais e orgânicas, usando *Daphnia magna* como bioindicador. Cinco organismos foram colocados em cada uma das três réplicas e as concentrações utilizadas foram 187 x 103 µg/L, 375 x 103 µg/L, 750 x 103 µg/L, 1 500 x 103 µg/L y 3 000 x 103 µg/L e dois controles negativos, um com água reconstituída mais acetona e um com água reconstituída isoladamente. A LC50 foi de 87,90 µg/L para o tóxico de referência (dicromato de potássio) e 124 x 103 µg/L para sombras produzidas industrialmente. Não foi possível determinar a CL50 para o teste com tons de elaboração orgânica porque a mortalidade não ultrapassou 6,70 %. Os valores revelaram uma maior sensibilidade dos organismos de teste para os tons de elaboração industrial em relação aos orgânicos. Embora

as sombras amarillas hechas en la fábrica sean menos tóxicas que otras colores como el rojo, ellas también contienen parabénes y otros compuestos tóxicos. En México no existen regulaciones que limiten la presencia de sombras y sus compuestos en ambientes acuáticos. Este trabajo proporciona información inexistente para México.

Palabras-clave: poluentes emergentes; *Daphnia magna*; sombra de ojos; bioensayos.

Abstract

Cosmetics are currently considered an emerging pollutant. An example of this are eye shadows, whose effects on aquatic organisms are unknown. A study was carried out to determine the toxicity of industrial and organic yellow eye shadows, using *Daphnia magna* as a bioindicator. Five organisms were placed in each of the three replicates and the concentrations used were 187 x 103 µg/L, 375 x 103 µg/L, 750 x 103 µg/L, 1 500 x 103 µg/L y 3 000 x 103 µg/L, and two negative controls, one with reconstituted water plus acetone and the other with reconstituted water alone. The LC50 for the reference toxicant (potassium dichromate) was 87.90 µg/L was obtained and of 124 x 103 µg/L for industrially produced eye shadows. It was not possible to determine the LC50 for the test with eye shadows of organic elaboration due to the mortality did not exceed 6.70%. The values revealed a greater sensitivity of the test organisms towards the eye shadows of industrial elaboration regarding the organic ones. While factory-made yellow eye shadows are less toxic than other colors like red, they also contain parabens, and some others compounds that are toxic. In Mexico, there are no regulations that limit the presence of eye shadows and their compounds in aquatic environments. This work provides non-existent information in Mexico.

Keywords: emerging pollutants; *Daphnia magna*; eye shadows; bioassays.

INTRODUCCIÓN

Los cosméticos siempre han sido considerados necesarios para tener éxito social, bélico o amoroso y frecuentemente se asocian con la belleza. El concepto de belleza es una moda que cambia con el tiempo y depende de la tradición cultural y religiosa. Para cuidar la piel y el aspecto, diferentes sociedades han usado y siguen usando productos minerales, de origen animal, vegetal y, por último, la síntesis química¹.

Descubrimientos arqueológicos demostraron la existencia de cosméticos desde hace millones de años, debido al hallazgo de materiales afilados que se presume eran para colorear el cuerpo. No obstante, la elaboración de productos cosméticos como complementos artificiales para la estética corporal exterior se remonta hacia el antiguo Egipto². Investigaciones recientes han revelado la riqueza y la importancia de la cosmética en el antiguo Egipto (4 000 a.C.), donde tanto hombres como mujeres emplearon productos cosméticos. El más difundido de estos productos era el kohl elaborado con galena, cerusita, laurionita y fosgenita. También usaban productos de belleza con antimonio, una sustancia química altamente tóxica. Se usaba como un cosmético para ennegrecer las cejas y las pestañas^{3,4}.

Es la palabra griega *kosmetika* la que genera el término cosmética. Sin embargo, en Grecia tenía una connotación diferente ya que realmente se refería a preparaciones para proteger el pelo, la cara y los dientes. El término para referirse a la cosmética dirigida a la belleza era *kommotikon*. El colorete para las mejillas, los

blanqueadores para palidecer la tez, las sombras y lápiz de ojos eran muy populares entre las mujeres griegas y romanas. Desafortunadamente, algunos de estos productos eran nocivos para la salud, como la base de maquillaje blanca que utilizaban en el rostro, la cual estaba compuesta por carbonato de plomo y ceras. El uso de cosméticos para resaltar la belleza llevaba consigo el riesgo de envenenamiento por la composición de los productos. El uso del carbonato de plomo representaba un riesgo tóxico para la piel, la cual a largo plazo se oscurecía³. Por otro lado, se sabía que este plomo blanco era venenoso (de hecho, lo utilizaban como veneno), por lo que el uso de estos materiales muestra que eran capaces de formular productos con multitud de propósitos⁵.

Con la llegada del Renacimiento retornaron los cosméticos con inusitada fuerza. Además del rostro, se maquillaban los pechos, usaban perfumes traídos de Asia e impusieron en Europa el gusto por el pelo rojo. Para conseguir este tono aplicaban una mezcla de miel, alumbre y sulfuro negro (PbS) en el cabello y lo exponían al sol. Actualmente, el sulfuro negro es utilizado para teñir telas como el algodón y pieles, aunque es considerado tóxico para la salud humana debido a que causa daños al feto en mujeres embarazadas³. Los primeros tratados de cosmética y belleza aparecieron en Francia e Italia durante los siglos XIV y XV. En 1573, en Italia, en el libro de Catalina de Sforza "*Experimentos*", hay toda clase de recetas de cosmética y perfumería. En ellos se mencionaba el uso de metales y sustancias tóxicas como sulfuro, bórax y ácido sulfúrico, entre otros, como parte de los componentes para producir los artículos de belleza³.

El descubrimiento del elemento radio causó furor a inicios del siglo XX. Su color blanco brillante daba un aspecto muy especial y se incorporó a productos cosméticos. Llenó los armarios de baño de polvos, cremas, maquillajes e incluso lápices de labios. Además, se le atribuían virtudes especiales y se incorporó a productos medicinales, pero más tarde se descubrió que podía provocar graves problemas de salud. Después de la muerte de Marie Curie y de algunas investigadoras de su equipo, se consideraron los riesgos de manipular el radio y de su ingestión⁶.

Se considera que la cosmética tiene hoy una base científica y tecnológica que se traduce en la eficacia y seguridad de los productos³. Sin embargo, debido a los procesos industriales utilizados en la elaboración de cosméticos, incluyendo las sombras de ojos, se generan grandes cantidades de residuos tóxicos. La fabricación de cosméticos se caracteriza por la utilización de compuestos sintéticos y gran maquinaria, para garantizar una alta producción. El uso desmedido de productos que no se consideraban anteriormente dañinos ha generado preocupación en la comunidad científica. En contraste, existen también procesos de elaboración de cosméticos denominados orgánicos, los cuales implican una producción manual más lenta, uso de materiales naturales y menor generación de residuos tóxicos^{7,8}.

Sin importar si las sombras de ojos son de elaboración orgánica o industrial, sus ingredientes van a depender de la presentación que puede ser polvo o crema. Las sombras de ojos en polvo están fabricadas por: un relleno, el cual contribuye en el deslizamiento y consistencia de los polvos; absorbentes, los cuales aumentan la densidad de los polvos y mejoran su compresibilidad; aglomerantes, estos ayudan a que se mantengan adheridos a la piel y que se conserven comprimidas; colorantes y conservantes. Dentro de los compuestos que se utilizan en las sombras de elaboración industrial se encuentran los parabenos, pigmentos azo, óxido de cromo, dióxido de titanio, óxidos de hierro, rellenos como la mica y fragancias. Las sombras de ojos de color amarillo suelen tener pigmentos como hidróxido de cromo, los cuales no se consideran tóxicos para los seres humanos, pero se desconoce su efecto en la fauna acuática⁹. Debido a ello, en la actualidad se les considera a los cosméticos industriales como contaminantes emergentes. El destino final de estos puede ser el medio acuático. Esto plantea nuevos desafíos mundiales en la calidad del agua. De esta manera, los compuestos utilizados durante la elaboración de las sombras de ojos representan una amenaza de proporciones desconocidas para la salud humana y de los ecosistemas, por lo que es necesario evaluar sus impactos. Por otro lado, los compuestos de las sombras orgánicas pueden incluir colorantes tomados de alimentos como el betabel, la cúrcuma, de animales como la cochinilla, aceites como el de almendras, coco,

limón o cera de abeja^{10,11}. Por lo que, se podría considerar a las orgánicas como amigables con el ambiente.

La implementación de ensayos de toxicidad es una manera económica de evaluar el daño derivado de la exposición a un compuesto químico. A través de estos ensayos podemos determinar los daños que están generando los contaminantes a nivel ambiental. Los bioensayos utilizan organismos de prueba llamados bioindicadores. Un bioindicador es una especie que posee características tales como sensibilidad a las perturbaciones del medio, pero no tanto como para indicarnos variaciones triviales o poco importantes biológicamente, y una tolerancia reducida respecto a uno o más factores ambientales. Los bioindicadores, también deben de tener una amplia distribución, abundancia, dispersión, éxito reproductivo, fáciles de identificar por personas sin experiencia en el taxón. Los datos obtenidos a partir de ellos son fácilmente interpretables, no se requiere de un equipo caro o complejo para su monitoreo y deben de ser capaces de advertir no solamente del peligro que corre el taxón mismo sino del peligro que corre todo el ecosistema¹².

Un ejemplo de bioindicador es el género *Daphnia* cuyas especies son utilizadas como organismos de referencia en pruebas de toxicidad. La amplia distribución geográfica de estas especies, el importante papel que cumplen en el interior de la comunidad zooplanctónica, la facilidad de cultivo en el laboratorio, la reproducción partenogenética (que asegura una uniformidad de respuesta) y el corto ciclo de vida con producción de un alto número de crías, han hecho que este grupo se considere ideal para la evaluación de toxicidad, a nivel universal¹³.

Es por ello, por lo que en este trabajo se planteó utilizar la especie *D. magna* para determinar la toxicidad que generan los cosméticos del tipo sombras de ojos de elaboración industrial y orgánica.

MATERIAL Y MÉTODOS

1. LIMPIEZA DEL MATERIAL Y CRISTALERÍA

La limpieza de la cristalería y el material utilizado durante la investigación siguió las siguientes recomendaciones^{13,14}. Un lavado inicial con jabón libre de fosfatos (Extran al 10 %). Se realizaron cuatro enjuagues con agua corriente y dos con agua destilada. Posteriormente se remojó en ácido nítrico al 10 % (Fermont con pureza del 79 %) por 12 horas. Finalmente, se enjuagó con agua destilada.

En el caso del material utilizado para los cultivos de algas, se llevó a cabo un lavado con jabón libre de fosfatos

(Extran 10 %) y posteriormente se esterilizó a 15 lb/pulg² (psi) por 15 min¹⁵.

2. CULTIVOS DE *SCENEDESMUS SP.* Y *CHLORELLA SP.*

Para la alimentación de los organismos, se utilizó un cultivo mixto de algas de los géneros *Chlorella* sp. y *Scenedesmus* sp. proporcionado por la Planta Experimental de Producción Acuícola (PEXPA), de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa. Los cultivos se escalaron en el medio mineral propuesto por ADSA=Micro¹⁶, desde un volumen de 50 mL hasta llegar a los 250 mL. Estos se mantuvieron a temperatura ambiente, con iluminación por 24 horas, irradiación continua proveniente de lámparas blancas fluorescentes (Megaluz, 20 W, 1200 lúmenes, 6500K), colocados a una distancia de 29 cm, aireación constante y agitación orbital para mantener la homogenización del medio de cultivo. Se proporcionó este cultivo en un volumen de 5 mL cada 48 h a los organismos como fuente de alimento.

3. PREPARACIÓN DE AGUA RECONSTITUIDA PARA MANTENIMIENTO DE *D. MAGNA*^{13,17}

El agua se mantuvo en aireación. Se registró el oxígeno disuelto y la temperatura con un oxímetro HANNA HI 9 146, y el pH con un potenciómetro digital Hip Mall. El agua reconstituida se conservó en promedio a una temperatura de 20 °C, el oxígeno disuelto por arriba de 6 mg/L y se mantuvo un pH de 8, hasta su utilización.

Se colocaron 3 recipientes con 30 mL del agua reconstituida y 10 neonatos en cada uno. Después de 48 horas, se comprobó que la supervivencia fuera del 90 %.

4. CULTIVO Y MANTENIMIENTO DE LOS ORGANISMOS DE PRUEBA

Los ejemplares de prueba fueron obtenidos por medio de un proveedor comercial (Bioacuatzx).

Durante el periodo de mantenimiento del cultivo de *D. magna* se siguieron las indicaciones de la NMX-AA-087-SCFI-2010¹⁸ y Díaz et al.¹³. Los especímenes se mantuvieron en recipientes de 2 litros con agua reconstituida a una temperatura de 21 ± 2 °C y bajo un fotoperiodo de 16 horas de luz y 8 horas de oscuridad, con una irradiación proveniente de lámparas blancas fluorescentes (Megaluz, 20 W, 1200 lúmenes, 6 500 K).

Cada tercer día se realizó la limpieza de los recipientes y se suministró alimento. Para la limpieza se empleó una jeringa de 5 mL y manguera para acuario, con el cual se removieron las exuvias y los restos de alimento depositados en el fondo de los contenedores.

Se utilizaron recipientes de 50 mL para la obtención de neonatos. Estos fueron colocados en baño María en una pecera de 20 L. Para el control de la temperatura se colocó un termómetro Hagen, un termostato sumergible de 25 W ThermalPRO y se mantuvo la aireación constante. Los bioensayos se realizaron con neonatos de un lote parental de 24 horas de edad. Se mantuvo el fotoperiodo de 16 horas de luz y 8 horas de oscuridad para la fase experimental.

5. BIOENSAYO CON TÓXICO DE REFERENCIA

Se utilizó K₂Cr₂O₇ (*Baker analyzed*) como tóxico de referencia en las concentraciones siguientes: 31 µg/L, 62 µg/L, 125 µg/L, 250 µg/L, 500 µg/L y 1 000 µg/L y un control negativo solo con agua reconstituida, se realizaron tres réplicas de cada uno.

En cada recipiente se colocaron 5 neonatos y se registró la mortalidad a las 2, 4, 6, 12 y 24 horas.

6. BÚSQUEDA EXPLORATORIA DE LAS CONCENTRACIONES DE PRUEBA

Para verificar la toxicidad de las sombras de tipo industrial y tipo orgánico, se utilizó solo el color amarillo de los productos adquiridos en el mercado. Se prepararon soluciones de 30 µg/L y 50 µg/L del producto y se llevaron a cabo tres pruebas, utilizando como solvente agua destilada, agua con acetona al 13,3 % y agua con alcohol al 9,3 %, para comprobar la solubilidad del compuesto¹⁹. Se evaluó la mortalidad con tres réplicas para cada concentración y solvente, con 5 neonatos cada uno.

7. BIOENSAYO DEFINITIVO

A partir de la búsqueda exploratoria se definieron las concentraciones de prueba, que fueron: 187 x 10³ µg/L, 375 x 10³ µg/L, 750 x 10³ µg/L, 1 500 x 10³ µg/L y 3 000 x 10³ µg/L utilizando agua reconstituida con acetona al 13,3 % y dos controles negativos, uno con agua reconstituida más acetona y el otro solo con agua reconstituida. Se hicieron 3 réplicas de cada condición experimental con 5 neonatos en cada una.

8. PROCESAMIENTO DE DATOS Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Se utilizó la versión 4.1.1 de 2021 del *software* R para el análisis estadístico. En los datos que cumplieron los supuestos de normalidad y homocedasticidad se aplicó una prueba paramétrica ANOVA de una vía y en aquellos que no cumplieron con estos, se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis²⁰. La concentración letal media (CL50) se determinó mediante la librería *drc*²¹.

RESULTADOS

1. PARÁMETROS FISCOQUÍMICOS

La temperatura promedio fluctuó entre los 19,3 y 21,4 °C, el oxígeno disuelto promedio varió de 7,8 a 8,2 mg/L y el pH promedio se conservó entre 7,2 y 7,8. Si bien los análisis de inferencia estadística indicaron diferencias entre los dispositivos experimentales, la temperatura del control y el ensayo con sombra orgánica se consideró similar. En el caso del pH y el oxígeno, los controles y el bioensayo con el tóxico de referencia también se consideraron similares. A pesar de las diferencias, los bioensayos cumplieron con los requerimientos indicados

en las normas para su realización, ya que la temperatura estuvo dentro de los valores aceptables que son 21 ± 2 °C, el oxígeno disuelto siempre se encontró por arriba de los 6,0 mg/L y el pH dentro del intervalo aceptable (7 u 8)^{18,13} (tabla1).

No se observó mortalidad en ninguno de los dos solventes, pero se consideró que el cosmético fue más soluble en acetona, solvente en el cual se observaron menos residuos. Debido a esto se utilizó la acetona como solvente para las pruebas definitivas.

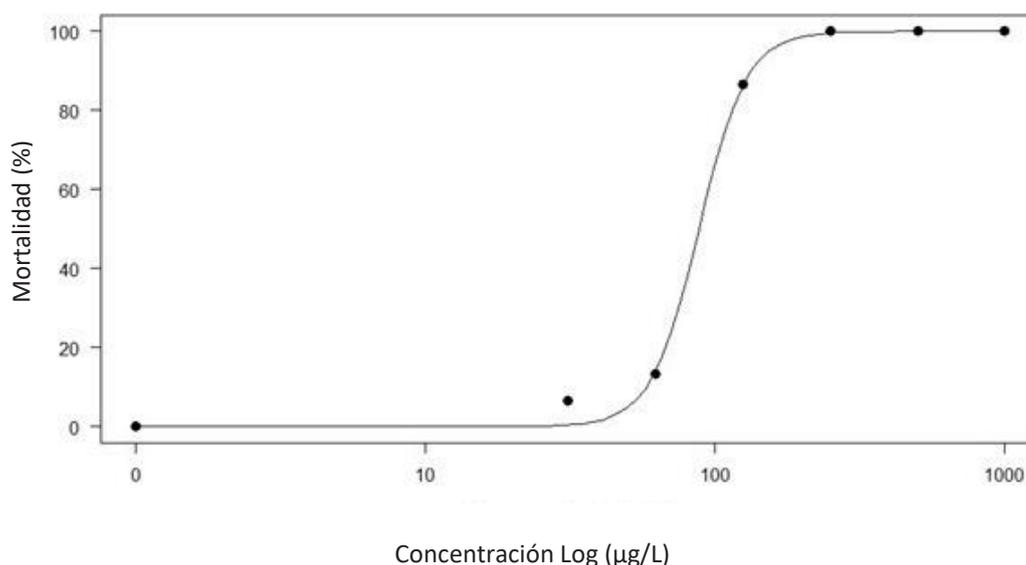
Los ensayos de toxicidad se consideraron válidos al no existir mortalidad en los grupos control.

Tabla 1. Comportamiento de los parámetros fisicoquímicos durante las pruebas de toxicidad (promedio \pm desviación estándar)

Variable	Control	K ₂ Cr ₂ O ₇	Sombra Industrial	Sombra Orgánica	Significancia de la prueba
Temperatura (°C) ^a	20,1 \pm 1,6	19,3 \pm 1,3	22,6 \pm 0,5	21,4 \pm 0,8*	F= 65,76; p<0,01
Oxígeno disuelto (mg/L) ^b	7,9 \pm 0,5	8,2 \pm 0,7	7,8 \pm 0,5	7,8 \pm 0,5*	H= 47,75; p<0,01
pH ^b	7,6 \pm 0,2	7,8 \pm 0,1	7,6 \pm 0,1*	7,2 \pm 0,2*	H= 53,30; p<0,01

^a = ANOVA; ^b = Kruskal-Wallis; * = Significativamente diferente.

Figura 1. Mortalidad de *Daphnia magna* con el tóxico de referencia (K₂Cr₂O₇)



2. IOENSAYO CON EL TÓXICO DE REFERENCIA

La CL50 del bioensayo con K₂Cr₂O₇ a las 24 horas fue de 87,90 µg/L (desviación estándar \pm 9,9, p < 0,01). Este valor es el esperado de acuerdo con Buratini et al²². y Garcés²³ los cuales indican que la CL50 esperada es de 195,0 µg/L y 81,60 µg/L, respectivamente (figura 1).

3. BIOENSAYO CON SOMBRAS DE ELABORACIÓN INDUSTRIAL Y ORGÁNICA

La CL50 de las sombras industriales a las 24 horas fue de 124×10^3 µg/L (desviación estándar \pm 13,80), eliminando las concentraciones más altas. Por otro lado, fue imposible determinar una CL50 para el ensayo

Tabla 2. Toxicidad de la sombra de elaboración industrial con respecto a la orgánica en *D. magna*. Se presenta el promedio del porcentaje de mortalidad y la desviación estándar

Concentración (x 10 ³ mg/L)	Mortalidad	
	Industrial	Orgánica
Control	0	0
187	67 ± 1,15	7 ± 0,58
375	87 ± 0,58	7 ± 0,58
750	67 ± 1,53	7 ± 0,58
1500	73 ± 1,15	0
3000	60 ± 1,00	0

con sombras de elaboración orgánica debido a que la mortalidad nunca rebasó el 6,70 % de los organismos (tabla 2).

DISCUSIÓN

Los parámetros fisicoquímicos se encontraron dentro de los niveles considerados como ideales durante el experimento con *D. magna* según la NMX-AA-087-SCFI-2010¹⁸ y la ISO 6341²⁴, por lo que estos parámetros no interfirieron con la supervivencia de los organismos.

En el bioensayo con el tóxico de referencia ($K_2Cr_2O_7$), se optó por utilizar las concentraciones propuestas por Cuellar et al.²⁵, entre 0,3 µg/L y 2,0 µg/L, debido a que las concentraciones propuestas por la NMX-AA-087-SCFI-2010¹⁸ (a partir de 600 µg/L) para la evaluación de toxicidad aguda con *D. magna* resultaron elevadas y generaron mortalidad en todas las concentraciones. La concentración letal media obtenida en este ensayo para el tóxico de referencia fue de 87,90 µg/L. Este valor se encontró dentro del intervalo de aceptación de acuerdo con los estudios que realizaron Buratini et al.²² (84,7 µg/L y 78,6 µg/L) y Garcés²³ (195 µg/L). Los resultados obtenidos con el tóxico de referencia, junto con el control negativo, indicaron que la prueba fue confiable. No obstante, hubo diferencias entre las réplicas de las concentraciones más elevadas en la prueba con las sombras de origen industrial. Las diferencias entre las réplicas podrían asociarse a que, si bien los individuos venían del mismo lote y tenían 24 horas de edad, no es posible asegurar que provinieran de un solo parental, lo que implicaría cierta variabilidad genética. Lo anterior hizo necesario considerar solamente las concentraciones bajas para la determinación de la CL50. La prueba Probit realizada con la librería drc en el *software* R, eliminó los datos extremos en donde ya no se presentó una tendencia esperada, es decir, ya no hubo una mortalidad ascendente respecto al aumento de la concentración²¹. Los porcentajes de mortalidad obtenidos del ensayo con sombras de origen industrial fueron más elevados que los obtenidos con las

sombras orgánicas. El tóxico de referencia fue 1 422 veces más tóxico que las sombras de ojos de origen industrial, cuya CL50 fue de 124 x 10³ µg/L.

Abe et al.²⁶, determinaron una CL50 de 19,7 x 10³ µg/L en el pigmento natural (eritrostomina) y de 100 µg/L en el pigmento sintético (Basic Red 51). Esto indica una toxicidad 100 veces mayor en el pigmento sintético, respecto al natural. Si bien ese trabajo se realizó con pigmentos rojos, el estudio mencionado sirve para comparar los resultados aquí presentados ya que, tanto las sombras de ojos rojas como las amarillas de origen industrial son elaboradas con pigmentos azo y otros como el hidróxido de cromo y fueron más tóxicas que las naturales. Los datos obtenidos sugieren que las sombras amarillas son menos tóxicas que las rojas, pero además se debe considerar que en la elaboración de sombras frecuentemente se utilizan distintos compuestos, los cuales tienen diferente toxicidad y pueden generar daños desconocidos una vez mezclados.

Entre estos compuestos se emplean algunos parabenos. Cuatro tipos de parabenos son los que se utilizan en la elaboración de los maquillajes para asegurar su conservación. Rius²⁷ realizó una batería de bioensayos utilizando *D. magna*. Dentro de los resultados obtuvo una CL50 de 2,4 x 10³ µg/L para butilparabeno, de 1,2 x 10³ µg/L para etilparabeno, de 11,0 x 10³ µg/L para metilparabeno y de 7,0 x 10³ µg/L para propilparabeno. Al igual que los datos obtenidos por Abe et al.²⁶, estas concentraciones son más tóxicas que las obtenidas en este trabajo. Por este motivo la *Scientific Committee on Consumer Safety*²⁸ permite el uso de uno o más parabenos en los cosméticos siempre y cuando no rebasen los 8,0 gr/Kg. De igual manera, estudios como el de Darbre y Harvey²⁹ firman que existe una relación directa entre el cáncer en mujeres especialmente el de mama y el uso de productos que contengan parabenos. Por ello, cada vez son más los consumidores que los evitan. Por otro lado, un estudio de la Universidad de Córdoba ha revelado que son uno de los principales contaminantes de las aguas marinas españolas³⁰.

Debido a esto, es necesario que todos los productos muestren una etiqueta en la que se expresen los materiales con los que fueron elaborados, como lo exige la NOM-141-SSA1/SCFI-2012³¹. Sin embargo, no todos cumplen con estos requisitos, ya que algunos ni siquiera cuentan con etiquetas, sobre todo aquellos de elaboración orgánica. Esto se debe a la falta de regulación de estos productos. En el caso de México, no se cuenta con estudios relacionados sobre los efectos de estos en los organismos acuáticos. Los cosméticos de tipo orgánico, al ser artesanales, no se comercializan internacionalmente, de manera que su consumo es más bien local. Las sombras de ojos no se han estudiado lo suficiente. Únicamente existen estudios realizados en cosméticos tales como champú y lociones de bebé, labiales, así como de champú y desodorantes para adultos (en este caso solo se han evaluado los parabenos y el triclosán), en países como Canadá, España e Inglaterra^{29,30,32}. Respecto al efecto de cosméticos en ambientes acuáticos, existen pocos estudios. Entre estos puede mencionarse la determinación de la toxicidad aguda de ingredientes presentes en productos de cuidado personal utilizando mezclas de diferentes tipos de parabenos y dióxido de titanio, probados en *D. magna* y *Phaeodactylum tricornutum*. Los resultados mostraron que la mortalidad de *D. magna* aumentó con la concentración de los elementos presentes en las mezclas. Estos resultados ponen en relieve la importancia de la investigación sobre la toxicidad de ciertas sustancias y sus mezclas en la biota acuática³³.

El cálculo de las CL50 sirve para determinar la toxicidad relativa de los compuestos, así como la sensibilidad de los organismos. Esto ayuda a generar protocolos o normas para evitar dicha toxicidad. Sin embargo, en esta investigación no fue posible determinar la concentración letal media de las sombras orgánicas debido a la baja mortalidad presentada durante el experimento. Castillo³⁴ menciona que, en una prueba de toxicidad aguda la ausencia de mortalidad o inmovilización de los organismos no siempre implica que el material de prueba carezca de sustancias dañinas. Los contaminantes emergentes como lo son las sombras de ojos pueden tener una baja toxicidad aguda, pero podrían causar efectos subletales significativos a concentraciones muy bajas de exposición. Por ejemplo, los efectos de la exposición a los compuestos de las sombras de ojos (colorantes, parabenos, aceites) durante las primeras etapas de la vida en organismos acuáticos pueden no observarse hasta la edad adulta y estos pueden incluir efectos reproductivos. Por otro lado, la toxicidad de cosméticos puede modificarse por fotodegradación dependiendo de su composición. Por ejemplo, algunas sombras tienen dióxido de titanio, compuesto utilizado en ocasiones como catalizador de la reacción en algunos ensayos^{35,36,37}. Pero en los ensayos llevados a cabo en la presente investigación se desconoce la presencia de este compuesto en las sombras evaluadas, ya que los fabricantes no especifican claramente la presencia de

este compuesto. De esta manera, la valoración apoyada en las pruebas de toxicidad tradicionales puede no ser lo suficientemente completa para la elaboración de criterios para el uso de estos productos químicos. Además, los mecanismos de acción tóxica de los contaminantes emergentes pueden afectar de diferente manera a los diversos tipos de organismos acuáticos^{38,39}. Por ejemplo, la mortalidad puede verse afectada por distintas razones como el sexo, el tamaño, la etapa de muda y de reproducción, entre otras⁴⁰.

Los descubrimientos de diversos estudios sobre contaminantes emergentes, incluyendo los cosméticos, reiteran la importancia del estudio ecotoxicológico con estos contaminantes^{2,29,33,34}. La evaluación ecotoxicológica es de extrema importancia en el control, reglamentación y clasificación de las sustancias tóxicas en cuanto a su potencial de riesgo ambiental⁴¹. A pesar de ello, el conocimiento científico y la comprensión de los posibles riesgos que representan los contaminantes emergentes para la salud humana y de los ecosistemas todavía es muy escaso. Su presencia en los recursos hídricos y las aguas residuales, así como su posible acumulación deben ser estudiados⁴². Es por lo que, para determinar el daño, es necesario extender las pruebas a la subletalidad.

CONCLUSIONES

El ensayo con el tóxico de referencia nos permitió garantizar que las pruebas definitivas se llevaran a cabo con un control adecuado, lo que proporcionó confiabilidad en la prueba.

Las sombras de ojos de tipo industrial tuvieron una CL50 de $124 \times 10^3 \mu\text{g/L}$. Se determinó que estas son más tóxicas que las sombras orgánicas. Sin embargo, estas también demostraron cierta toxicidad ya que se observó una mortalidad de 6,70 % mientras que el control no presentó mortalidad.

Los datos obtenidos en este trabajo ayudan a ampliar la información que se tiene del tema, ya que esta es muy escasa y no se han llevado a cabo en México este tipo de estudios. Los cosméticos son productos que seguirán utilizándose e incorporarán nuevas formulaciones y su destino final pueden ser los ambientes acuáticos, por lo que es necesario seguir estudiando sus efectos en estos ambientes.

Es necesario desarrollar ensayos de toxicidad crónica con estos contaminantes, para poder evaluar respuestas subletales tales como la capacidad reproductiva o el crecimiento de los individuos, con el fin de garantizar que los productos cosméticos (como las sombras de ojos) tanto de elaboración orgánica, como industrial, no representen un riesgo a la salud de los organismos y del ambiente acuático.

BIBLIOGRAFÍA

- González F, Bravo L. Historia y actualidad de productos para la piel, cosméticos y fragancias. Especialmente los derivados de las plantas. *Ars Pharm Internet*. 2017;58(1):5-12.
- Andrade A, Valdiviezo A. Control microbiológico de cosméticos elaborados artesanalmente en base de productos naturales en la ciudad de Quito [Licenciatura]. [Quito]: Pontificia universidad católica del Ecuador; 2012.
- Allevato M. Cosméticos - maquillajes. *Act Terap Dermatol*. 2006; 29:200.
- Jain N, Chaudhri S. History of cosmetics. *Asian J Pharm*. 2009;3(3):164.
- Cartwright M. Cosmética en el Mundo Antiguo [Internet]. Enciclopedia de la Historia del Mundo. 2019 [citado 2 de agosto de 2022]. Disponible en: <https://www.worldhistory.org/trans/es/2-1441/cosmetica-en-el-mundo-antiguo/>.
- Melenchón I. Una belleza radiante (y radiactiva) [Internet]. *La vanguardia.com*. 2020 [citado 30 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.lavanguardia.com/historiayvida/historia-contemporanea/20200919/33350/belleza-radiante-radioactiva.html>.
- Alcalde M. Cosmética natural y ecológica. Regulación y clasific. *Offarm*. 1 de octubre de 2008;27(9):96-104.
- Cuevas G. Impacto de la logística inversa de cosméticos en el medio ambiente [tesis de licenciatura]. [Bogotá]: Universidad Militar Nueva Granada; 2014.
- Cosmos. Información técnica de los colorantes para cosméticos [Internet]. *Cosmos Online*. 2022 [citado 6 de diciembre de 2022]. Disponible en: <https://www.cosmos.com.mx/wiki/colorantes-para-cosmeticos-bddh.html>.
- Camps M. La nueva cosmética natural. *El farmacéutico*. 2016;(536):3.
- Ibáñez D. Cosmética natural, una apuesta de futuro [Internet]. *El Farmacéutico*. 2020 [citado 11 de diciembre de 2022]. Disponible en: https://www.elfarmacéutico.es/tendencias/te-interesa/cosmetica-natural-una-apuesta-de-futuro_111248_102.html.
- González C, Vallarino A, Pérez J, Low A. Bioindicadores: Guardianes de nuestro futuro ambiental. México: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático; 2014.
- Díaz M, Pica Y, Ronco A. Ensayo de toxicidad aguda con el cladóceros *Daphnia magna*. En: Ramírez P, Mendoza A, editores. *Ensayos toxicológicos para la evaluación de sustancias químicas en agua y suelo La experiencia en México*. México: Instituto Nacional de Ecología; 2008. p. 17-32.
- American Public Health Association. Standard methods for the examination of water and wastewater. 23.ª ed. Washington, DC: APHA; 2017.
- Pica Y, Sobrino A. Lavado de material para ensayos de toxicidad. En: Ramírez P, Mendoza A, editores. *Ensayos toxicológicos para la evaluación de sustancias químicas en agua y suelo*. México: Instituto Nacional de Ecología; 2008. p. 361-2.
- Vorquica S. Medios de cultivo para microbiología. España: ADSA=MICRO; 1981.
- Ramírez P, Barrera G, Guzmán X, Barrera-Villa Zevallos. *Ecotoxicología*. México: Universidad Autónoma Metropolitana; 2018.
- Secretaría de Economía. NMX-AA-087-SCFI-2010 Análisis de agua—Evaluación de toxicidad aguda con *Daphnia magna*, Straus (Crustácea—Cladóceros) [Internet]. Secretaría de Economía. 2010 [citado 1 de diciembre de 2021]. Disponible en: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166797/NMX-AA-087-SCFI-2010.pdf>.
- Barberis F. Estudio de flavonona como potencial plaguicida de áfidos en cultivo de lechuga [tesis de licenciatura]. [Buenos Aires]: Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales Universidad Nacional de La Plata; 2019.
- Bruce P, Bruce A, Gedeck P. *Practical Statistics for Data Scientists*. 2.ª ed. Sebastopol, CA: O'Reilly Media, Inc; 2020.
- Ritz C, Baty F, Streibig C, Gerhard D. Dose-Response Analysis Using R. Xia Y, editor. *PLOS ONE*. 2015;10(12):e0146021.
- Buratini S, Bertolotti E, Zagatto P. Evaluation of *Daphnia similis* as a Test Species in Ecotoxicological Assays. *Bull Environ Contam Toxicol*. noviembre de 2004;73(5):878-82.
- Garcés R. Implementación de una técnica biológica para determinar niveles de toxicidad aplicando *Daphnia magna* (Crustácea: Cladóceros) en el agua de vertiente utilizada en el sector de Huachi La Libertad. [licenciatura]. [Ecuador]: Universidad Técnica de Ambato; 2013.
- ISO 6341. Water quality. Determination of the inhibition of the mobility of *Daphnia magna* Straus (Cladocera, Crustacea). Acute toxicity test. [Internet]. BSI British Standards; 2012. Disponible en: <https://linkresolver.bsigroup.com/junction/resolve/00000000030213505?restype=standard>.
- Cuellar C, Macedo M, Carhuamanta A. Bioensayo de toxicidad de dicromato de potasio (K₂Cr₂O₇) sobre *Daphnia magna*. [licenciatura]. [Lima]: Universidad Nacional Federico Villarreal; 2008.
- Abe FR, Machado AL, Soares AMVM, Oliveira DP de, Pestana JLT. Life history and behavior effects of synthetic and natural dyes on *Daphnia magna*. *Chemosphere*. diciembre de 2019; 236:124390.
- Rius M. Evaluación del riesgo ecotoxicológico de cinco parabenos mediante batería de bioensayos. [pregrado]. [España]: Universidad Politécnica de Valencia; 2020.
- Scientific Committee on Consumer Safety. Opinion on parabens: Updated request for a scientific opinion on propyl and butylparaben COLIPA n° P82 [Internet]. LU: Publications Office of the European Union; 2013 [citado 1 de diciembre de 2021]. Disponible en: <https://data.europa.eu/doi/10.2772/66369>.
- Darbre P, Harvey P. Paraben esters: review of recent studies of endocrine toxicity, absorption, esterase and human exposure, and discussion of potential human health risks. 2008. *Journal of Applied Toxicology*, 28(5), 561–578. doi:10.1002/jat.1358.
- García-Valverde M, Rosende M, Lucena R, Cárdenas S, Miró M. Lab-on-a-Chip Mesofluidic Platform for On-Chip Handling of Carbon-Coated Titanium Dioxide Nanotubes in a Disposable Microsolid Phase-Extraction Mode. *ANALYTICAL CHEMISTRY*. 90(7), 4783–4791. doi: 10.1021/acs.analchem.8b00158.
- Secretaría de Salud. NOM-141-SSA1/SCFI-2012 Etiquetado para productos cosméticos preenvasados. Etiquetado sanitario y comercial [Internet]. DOF -Diario Oficial de la Federación. 2012 [citado 1 de diciembre de 2021]. Disponible en: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5269348&fecha=19/09/2012.

32. David Suzuki Foundation. "The Dirty Dozen" cosmetic chemicals to avoid [Internet]. David Suzuki Foundation. 2022 [citado 16 de octubre de 2022]. Disponible en: <https://david Suzuki.org/living-green/dirty-dozen-cosmetic-chemicals-avoid/>.
33. Soler A. Determinación de la toxicidad aguda de ingredientes utilizados en los productos de cuidado personal. [Maestría]. [Barcelona]: Escola de Camins; 2016.
34. Castillo G. Ensayos toxicológicos y métodos de evaluación de calidad de aguas. México: IMTA; 2004.
35. ASPIDPRO. Dióxido De Titanio Y Su Uso En La Cosmética [Internet]. ASPIDPRO Cosmética profesional. 2022 [citado 16 de marzo de 2023]. Disponible en: <https://aspidpro.com/blog/dioxido-de-titanio-y-su-uso-en-la-cosmetica.html>.
36. TDMA. Titanium dioxide: the cosmetic industry's indispensable ingredient [Internet]. TDMA. 2022 [citado 16 de marzo de 2023]. Disponible en: <https://www.tdma.info/>.
37. TDMA. Titanium dioxide in cosmetics [Internet]. TDMA. 2022 [citado 16 de marzo de 2023]. Disponible en: <https://www.tdma.info/safety/tio2-in-cosmetics/>.
38. Arbeláez P. Contaminantes emergentes en aguas residuales y de río y fangos de depuradora. [Doctoral]. [Tarragona- España]: UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI; 2015.
39. EPA. Contaminants of Emerging Concern including Pharmaceuticals and Personal Care Products [Internet]. 2020 [citado 1 de diciembre de 2021]. Disponible en: <https://www.epa.gov/wqc/contaminants-emerging-concern-including-pharmaceuticals-and-personal-care-products>.
40. Buikema A, Niederlehner B, Cairns J. Biological monitoring part IV—Toxicity testing. *Water Res.* enero de 1982;16(3):239-62.
41. Shaw I, Chadwick J. Principles of Environmental Toxicology. Londres: Taylor and Francis; 1998.
42. UNESCO. Emerging Pollutants in Water and Wastewater [Internet]. UNESCO. 2015 [citado 1 de diciembre de 2021]. Disponible en: <https://en.unesco.org/emergingpollutantsinwaterandwastewater>.