



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE QUINTANA ROO

DIVISIÓN DE CIENCIAS, INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL  
MEDIA (CL<sub>50</sub>) DE PROTECTORES SOLARES  
UTILIZANDO A *Daphnia magna* (CLADÓCERO)  
COMO ESPECIE DE PRUEBA.

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE  
INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTA

ANA CRISTINA BARBOSA SOTO  
GEORGINA MONTSERRAT CALDERÓN CASTRO

DIRECTOR DE TESIS

Dr. VÍCTOR HUGO DELGADO BLAS

ASESORES

Dr. RUSSELL GIOVANNI UC PERAZA  
Dra. JENNIFER DENISSE RUÍZ RAMÍREZ  
Dr. JOSÉ MANUEL CARRIÓN JIMÉNEZ  
M.E.M. JOSÉ LUIS GONZÁLEZ BUCIO



CHETUMAL QUINTANA ROO, MÉXICO, OCTUBRE DE 2023



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE QUINTANA ROO

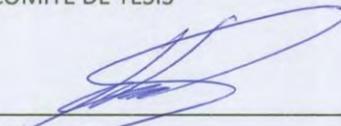
## DIVISIÓN DE CIENCIAS, INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

TESIS ELABORADA BAJO LA SUPERVISIÓN DEL COMITÉ DE TESIS DEL  
PROGRAMA DE LICENCIATURA Y APROBADA COMO REQUISITO PARA  
OBTENER EL GRADO DE:

### INGENIERO AMBIENTAL

#### COMITÉ DE TESIS

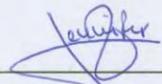
DIRECTOR:

  
Dr. VICTOR HUGO DELGADO BLAS

ASESOR:

  
Dr. RUSSELL GIOVANNI UC PERAZA

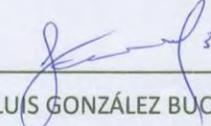
ASESOR:

  
Dra. JENNIFER DENISSE RUÍZ RAMÍREZ

ASESOR SUPLENTE:

  
Dr. JOSÉ MANUEL CARRIÓN JIMÉNEZ



  
M.E.M. JOSÉ LUIS GONZÁLEZ BUCIO



CHETUMAL QUINTANA ROO, MÉXICO, OCTUBRE DE 2023

## DEDICATORIA

Para Rocío y Arturo, mis padres. Por sostenerme sin titubear una y otra vez cuando más los he necesitado, por sus palabras de aliento, amor y disciplina. Gracias por la confianza, motivación y apoyo incondicional durante mi formación profesional. Sin saberlo me han salvado, los amo con mi alma.

A mis hermanas Andrea y Alondra, su valentía y resiliencia me motivan transversalmente.

A mis hermanitos Arturo y Regina, siempre estaré para aconsejarlos y guiarlos.

A mi pequeña sobrina Eleonor, viniste a alegrar la vida de todos, principalmente la mía. Te amo.

### *Georgina*

A mis fuertes y valientes padres, Dora y Francisco, por cuidar mi camino e impulsarme a encontrar y formar mi grandeza. Papá, eres mi ejemplo de sabiduría y esfuerzo, gracias por luchar para que mi camino sea más cómodo que el que tu atravesaste. Mamá tu fortaleza y valentía me enseñaron a ser fuerte, a creer en mí y a luchar por todo lo que quiero alcanzar a ser y a tener. Los admiro, los amo.

A mi hermano Fabián, por ser mi compañero aún en la distancia.

A mi hermano Omar, por ser mi luz en el camino de la incertidumbre, por impulsarme, escucharme y aconsejarme, tu amor y sabiduría me han abrazado toda la vida.

A mi pequeño y amado perro tamarindo, por acompañarme y sacarme sonrisas cuando las cosas se ponían difíciles, alegras mi vida.

### *Cristina*

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a todas las personas que de manera directa e indirecta han sido participes en esta tesis. Principalmente, al Dr. Víctor Hugo Delgado Blas, por aceptar ser nuestro director en esta investigación y darnos un lugar en su laboratorio durante casi un año. Su compromiso y pasión por la ciencia y enseñanza es admirable. Gracias por impartirnos materias de manera tan acertada.

Al Dr. Russell Giovanni Uc Peraza, por su apoyo y disponibilidad para asesorar esta tesis, por su paciencia en nuestras inquietudes, correcciones, enseñanzas y consejos precisos.

Agradezco a todos los profesores y profesoras que nos han guiado a lo largo de 5 años. Sobre todo, a la Mtra. Mónica Ariadna Chargoy Rosas, las enseñanzas y su tenacidad siempre serán recordadas.

Al Dr. José Manuel Carrión Jiménez, por su ímpetu por la enseñanza de manera puntual y eficiente.

A la Dra. Norma Angélica Oropeza García, su sabiduría y sensatez fue fundamental en mi formación como Ingeniera ambiental. MP. AMB. Gerardo Daniel López Montejó, gracias por su amabilidad y apoyo, su trabajo es de admirar.

M. en C. Jaime Alfredo Castillo Rodríguez, le agradezco su paciencia, ayuda y accesibilidad en el laboratorio de química. Así como al MEM. José Luis González Bucio por facilitarnos en todo momento materiales para el desarrollo de esta investigación.

A mis compañeros de carrera, principalmente a mi amigo Fernando por brindarme su amistad y buen humor en los momentos de colapsos universitarios. Y te agradezco profundamente a ti Cris, por haber realizado esta investigación conmigo. Por sobrellevar los días de estrés y cansancio. Gracias por brindarme tu amistad, por siempre escucharme, aconsejarme y permitirme crecer a tu lado no sólo profesionalmente sino también de manera personal. Te quiero mucho hermana, nunca dejes de ser quién eres.

*Georgina*

Las personas marcan tu vida de diferentes maneras, mi camino académico quedo gratamente marcado por el Dr. Víctor Hugo Delgado Blas, nuestro director de tesis. Su pasión y amor por la investigación y la enseñanza me han inspirado. Para mí, la enseñanza es como usted la imparte. Gracias por hacernos sentir parte de su laboratorio. Mi completa admiración.

Al Dr. Russell Giovanni Uc Peraza, gracias infinitas por su apoyo, paciencia y disponibilidad. Un placer coincidir, aprendimos mucho de usted en tan poco tiempo.

Agradezco a todos los docentes de los que tuve el placer y privilegio de aprender durante mi trayecto por esta universidad.

Mtra. Mónica Ariadna Chargoy Rosas, en mi memoria queda guardada la tenacidad y la pasión que refleja, gracias por inspirarme.

Al Dr. José Manuel Carrión Jiménez, admiro la precisión y claridad de su estilo de enseñanza.

A la Dra. Norma Angélica Oropeza García, agradezco su guía en nuestro primer proyecto de investigación. Agradezco los consejos, correcciones y la motivación.

Gracias al M. en C. Jaime Alfredo Castillo Rodríguez por facilitarnos material y acceso al laboratorio de química. MEM. José Luis González Bucio por otorgarnos material fundamental para el desarrollo de esta investigación.

A mis amigos y compañeros de carrera. Fernando, gracias por brindarme tu amistad, tus consejos y tu paciencia, en medio del caos escolar, tu optimismo me devolvía la vida.

Georgina, hermana, lo logramos. Gracias por todo, gracias por ayudarme a crecer profesional y personalmente. Tu amistad es un tesoro que quiero conservar toda la vida, espero no sea la última vez que trabajamos juntas. Guardo en mi corazón todo lo que vivimos juntas, te quiero mucho.

*Cristina*

## ÍNDICE GENERAL

<b>DEDICATORIA</b> .....	1
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	2
<b>ÍNDICE GENERAL</b> .....	4
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	7
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	9
<b>ÍNDICE DE ANEXOS</b> .....	10

<b>RESUMEN</b> .....	12
----------------------	----

## CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

1. Introducción.....	15
1.1 Antecedentes.....	18
1.2 Justificación .....	21
1.3 Preguntas de investigación .....	22
1.4 Hipótesis .....	22
1.5 Objetivos.....	22
1.5.1 Objetivo general.....	22
1.5.2 Objetivos específicos .....	22

## CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2. Marco teórico.....	24
2.1 Bioensayos.....	25
2.2 Bioensayos de toxicidad aguda y crónica.....	27
2.3 Concentración Letal Media (CL <sub>50</sub> ).....	28

2.4 Evaluación de riesgo ambiental.....	29
2.5 Ecosistemas acuáticos de Quintana Roo .....	32
2.6 Organismo bioindicador .....	34
2.7 Cladóceros .....	36
2.7.1 <i>Daphnia</i> .....	37
2.7.2 <i>Daphnia magna</i> .....	38
2.8 Protectores solares .....	39
2.8.1 NIVEA SUN® .....	40
2.8.2 MAYA SOLAR® .....	41
2.8.3 BIODERMA® .....	42

### **CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS**

3.1 Organismo de prueba: <i>Daphnia magna</i> .....	45
3.2 Limpieza de materiales.....	47
3.3 Preparación de diluciones.....	48
3.4 Pruebas exploratorias.....	51
3.4.1 Prueba exploratoria utilizando el protector solar NIVEA SUN® .....	52
3.4.2 Prueba exploratoria utilizando el protector solar MAYA SOLAR® .....	54
3.4.3 Prueba exploratoria utilizando BIODERMA® .....	56
3.5 Pruebas definitivas.....	58
3.6 Pruebas replicadas .....	59
3.7 Cálculo de la CL <sub>50</sub> .....	61
3.8 Análisis estadístico .....	62

### **CAPÍTULO IV RESULTADOS**

4.1 Evaluación de los efectos .....	64
-------------------------------------	----

4.1.1 Bioensayo con el protector solar NIVEA SUN® .....	64
4.1.2 Bioensayo con el protector solar MAYA SOLAR® .....	65
4.1.3 Bioensayo con el protector solar BIODERMA® .....	66
4.2 Resultados del análisis estadístico.....	67
<b>CAPÍTULO V DISCUSIÓN .....</b>	<b>70</b>
<b>CAPÍTULO VI CONCLUSIONES.....</b>	<b>76</b>
<b>CAPÍTULO VII RECOMENDACIONES .....</b>	<b>80</b>
<b>CAPÍTULO VIII REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>91</b>
<b>CAPÍTULO IX ANEXOS .....</b>	<b>92</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Daphnia magna</i> . Hembra Partenogenética. ....	38
Figura 2. Protector solar NIVEA SUN® .....	40
Figura 3. Protector solar MAYA SOLAR® .....	41
Figura 4. Protector solar BIODERMA® .....	42
Figura 5. Limpieza de materiales con ácido clorhídrico al 20%. ....	47
Figura 6. Preparación de diluciones para la prueba preliminar en la especie <i>Daphnia magna</i> utilizando como tóxico el protector solar NIVEA SUN® .....	48
Figura 7. Preparación de diluciones para la prueba preliminar en la especie <i>Daphnia magna</i> utilizando como tóxico protector solar MAYA SOLAR® .....	49
Figura 8. Preparación de diluciones para la prueba preliminar en la especie <i>Daphnia magna</i> utilizando como tóxico protector solar BIODERMA® .....	49
Figura 10. Diseño de la prueba preliminar de las concentraciones definitivas para el bioensayo utilizando como protector solar NIVEA SUN®. ....	53
Figura 11. Diseño de la prueba preliminar de las concentraciones definitivas para el bioensayo utilizando el protector solar MAYA SOLAR® .....	55
Figura 12. Diseño de la prueba preliminar de las concentraciones definitivas en la especie <i>Daphnia magna</i> utilizando como tóxico al protector solar BIODERMA® .....	57
Figura 13. Representación general del procedimiento definitivo del bioensayo.....	58
Figura 14. Prueba definitiva con réplicas para el bioensayo de toxicidad aguda con <i>Daphnia magna</i> utilizando como tóxico el protector solar NIVEA SUN® .....	59
Figura 15. Prueba definitiva con réplicas para el bioensayo de toxicidad aguda con <i>Daphnia magna</i> utilizando como tóxico el protector solar MAYA SOLAR® .....	59
Figura 16. Prueba definitiva con réplicas para el bioensayo de toxicidad aguda con <i>Daphnia magna</i> utilizando como tóxico el protector solar BIODERMA® .....	60
Figura 17. Probit empírico contra Log de la concentración del protector solar NIVEA SUN® y estimación de la CL50 a 48 h. en <i>Daphnia magna</i> . ....	64

Figura 18. Probit empírico contra Log de la concentración del protector solar MAYA SOLAR® y estimación de la CL50 a 48 h. en <i>Daphnia magna</i> .....	65
Figura 19. Probit empírico contra Log de la concentración del protector solar BIOEDERMA® y estimación de la CL50 a 48 h. en <i>Daphnia magna</i> .....	66
Figura 20. Distribución de la variable dependiente (mortalidad) clasificada por tipo de marcas de protectores solares. ....	68
Figura 21. Bioensayo preliminar del protector solar MAYA SOLAR® con <i>Daphnia magna</i> . ....	92
Figura 22. Bioensayo preliminar del protector solar NIVEA SUN® con <i>Daphnia magna</i> .	93
Figura 23. Bioensayo preliminar del protector solar BIODERMA® con <i>Daphnia magna</i> .	94
Figura 24. Cuantificación e identificación de <i>Daphnia magna</i> .....	95
Figura 25. Especie de prueba.....	96

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Listado de activos cosméticos de protección solar, presentando capacidad de protección y mecanismos de acción (Filtros físicos o químicos) .....	29
Tabla 2. Tabla 2. Clasificación de protectores solares. Realización propia con base a la información brindada por las etiquetas de las cremas. ....	43
Tabla 3. Concentraciones de volumen de muestra y volumen de agua utilizando como tóxico protector solar NIVEA SUN® .....	48
Tabla 4. Concentraciones de volumen de muestra y volumen de agua utilizando como tóxico protector solar MAYA SOLAR® .....	49
Tabla 5. Concentraciones de volumen de muestra y volumen de agua utilizando como tóxico protector solar BIODERMA® .....	50
Tabla 6. Resultados del tercer bioensayo exploratorio con NIVEA SUN® .....	52
Tabla 7. Resultados del cuarto bioensayo exploratorio con MAYA SOLAR® .....	54
Tabla 8. Prueba exploratoria con BIODERMA® .....	57
Tabla 9. Resultados de toxicidad del protector solar NIVEA SUN®. ....	64
Tabla 10. Resultados de toxicidad del protector solar MAYA SOLAR® .....	65
Tabla 11. Resultados de toxicidad del protector solar BIODERMA®. ....	66
Tabla 12. Estadística descriptiva de la variable dependiente (Mortalidad). ....	67
Tabla 13. Estadística descriptiva en cuartiles. ....	67
Tabla 14. Método Kruskal-Wallis .....	69
Tabla 15. Comparaciones múltiples- Mortalidad. ....	69

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Materiales para realizar la prueba de toxicidad aguda de protectores solares usando <i>Daphnia magna</i> . .....	91
Anexo 2. Bioensayos preliminares. ....	92
Anexo 3. Cuantificación de organismos.....	95
Anexo 4. Organismo utilizado en los bioensayos. ....	96

# RESUMEN

---

## RESUMEN

La información disponible sobre los efectos adversos de protectores solares en el medio acuático es escasa y dispersa, lo cual dificulta dimensionar las consecuencias negativas por la entrada de estos productos en el ambiente acuático. La relevancia de los protectores solares ha incrementado en las últimas décadas debido a la rápida y alarmante dispersión de información sobre el cuidado de la piel contra los rayos (UV: UVB y UVA) para prevenir quemaduras de sol, oscurecimiento y engrosamiento de la capa exterior de la piel (epidermis) e inclusive cáncer. Estos productos han evolucionado para adaptarse a las necesidades de los consumidores desarrollando diversos beneficios adicionales a la protección solar. Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo de tesis fue evaluar los efectos agudos de protectores solares sobre una especie de crustáceo nativa de las aguas continentales, debido que es crucial este tipo de trabajos para generar información que sea de utilidad para la conservación de la biota acuática de la región. Los protectores solares se clasifican de acuerdo con sus ingredientes activos como; orgánicos e inorgánicos. En este contexto el proyecto se centró en determinar la Concentración Letal Media (CL<sub>50</sub>) de los protectores solares NIVEA SUN® y MAYA SOLAR® a 48 horas y BIODERMA® a 72 horas sobre el cladóceros *Daphnia magna*, donde MAYA SOLAR® y BIODERMA® son clasificados como protectores solares inorgánicos, en cuanto NIVEA SUN® es orgánico. Los valores en términos de CL<sub>50</sub> con un nivel de confianza al 95%, se determinó a partir del Método Probit (Método de Unidades probabilísticas), el cual permite evaluar la relación entre el porcentaje de mortalidad y la concentración de un contaminante sobre un organismo. Los resultados se graficaron mediante curvas de regresión Probit Empírico contra Log<sub>10</sub> de la concentración con ayuda de Microsoft Office Excel 2010. El valor de CL<sub>50</sub> para NIVEA SUN®, MAYA SOLAR® y BIODERMA® fue 1.27, 1.97 y 3.89, respectivamente. El análisis ANOVA mostró diferencias estadísticas significativas ( $p < 0.05$ ) entre los tratamientos. Los resultados obtenidos demuestran que los protectores solares formulados con ingredientes activos orgánicos fueron más tóxicos en comparación con productos formulados que contiene ingredientes activos inorgánicos. Con esta información podemos concluir que las tres marcas de protectores solares causan un efecto agudo en la especie *Daphnia magna*, siendo NIVEA SUN® el más tóxico, seguido por MAYA SOLAR® y finalmente BIODERMA®.

*Palabras clave: Aguas continentales, organismo bioindicador, protectores solares, toxicidad aguda.*

# CAPÍTULO I

---

## INTRODUCCIÓN

## 1. Introducción

El crecimiento acelerado de la población humana en los últimos años ha generado un aumento en el uso de sustancias químicas tóxicas y su liberación en los sistemas acuáticos, terrestres y atmosféricos. El crecimiento de la población ha sido una de las razones más frecuentemente citadas para explicar la sobreexplotación de los recursos naturales y la degradación ambiental (McNeill, 2006). De esta manera, la contaminación por sustancias tóxicas en cuerpos acuáticos ha sido el más significativo y el que ha generado más impactos negativos en la biota de ambientes costeros, ríos, lagos y otros sistemas hídricos.

En particular, la liberación de sustancias tóxicas en los ecosistemas acuáticos produce una variedad de respuestas complejas en los organismos, razón por la que es preciso su evaluación. (Silva *et al.*, 2007). La presencia de estas sustancias en altas o bajas concentraciones puede generar alteraciones en las dinámicas de los ecosistemas y las comunidades biológicas.

En particular, Quintana Roo posee una amplia variedad de cuerpos de agua desde cenotes, lagunas, arroyos y un litoral, el mar caribe (Océano atlántico), lo que le otorga una diversidad de ecosistemas acuáticos.

Dentro de los ecosistemas representativos del Estado resaltan las dolinas o cenotes y cuyos sistemas son complejos y dinámicos, que les confiere una gran diversidad y abundancia de especies endémicas, y al ser espacios subterráneos de agua, con conexión con el exterior, y con el nivel freático, suelen ser susceptibles a diversos contaminantes (Beddows *et al.*, 2007).

Los recursos naturales que conforman al Estado han permitido desarrollar un gran número de actividades económicas relacionadas directa o indirectamente al turismo, aumentando su atractivo y provocando el incremento de visitantes cada año. En 2023,

Quintana Roo recibió el premio “Travellers Awards”, que destaca al destino como el líder en turismo de América, el Caribe y uno de los principales del mundo.

El turismo en el Estado está estrechamente relacionado con la explotación de los cuerpos acuáticos continentales para fines recreacionales, esta situación ha permitido la entrada de sustancias químicas con posibles efectos tóxicos, debido a productos de uso personal como los protectores solares que, a través del contacto directo con la piel de los bañistas o por medio de las aguas residuales de los complejos hoteleros que no son tratadas correctamente ingresan a las aguas y las contaminan.

La toxicidad es una propiedad relativa que refleja el potencial de un producto químico para tener un efecto perjudicial sobre un organismo vivo. Este resultado es función de la concentración, composición y de las propiedades del tóxico al cual el organismo es expuesto, así como de la duración de dicha exposición. (Roman, 2001).

Los ensayos de toxicidad aguda consisten en la exposición capaz de reproducir una respuesta rápida, observando dentro de 48 o 96 hrs. (Crites, 2000). Cuyo objetivo es establecer cuantitativamente la toxicidad de un compuesto mediante su administración en dosis únicas relativamente altas, capaces de causar la muerte de parte de los organismos expuestos (Moreno-Grau, 2003). Así, los bioensayos son técnicas importantes para estudiar las interacciones entre sustancias y organismos, los cuales permiten identificar los gradientes de concentración necesarios para observar algún efecto (actividad biológica) entre sustancia y organismos incluyendo la muerte. (Cervantes *et al.*, 2019).

El uso irracional y desinformado de los cuerpos acuáticos para fines recreacionales ha permitido la entrada de contaminantes emergentes con posibles efectos tóxicos. Evaluar la toxicidad de productos ampliamente utilizados en el Estado como los protectores solares, permite dimensionar su impacto en la biota de los principales cuerpos receptores.

Dentro del mercado podemos encontrar una amplia variedad de protectores solares que ofrecen diferentes niveles de protección solar e incluso algunos afirman proveer beneficios extras para la piel, sin embargo, estos productos se clasifican de acuerdo con sus

ingredientes activos en orgánicos e inorgánicos. Es fundamental analizar y determinar los efectos de cada grupo sobre los organismos.

De acuerdo con la literatura, tanto en Quintana Roo como a nivel nacional, los estudios señalan un posible impacto negativo principalmente en los arrecifes de coral, pero respecto a los organismos nativos o con una importancia zooplantónica es escasa.

La *Daphnia magna* comúnmente conocida como pulga de agua es un organismo biondicador ampliamente utilizado en pruebas de toxicidad, es un crustáceo del Suborden *Cladóccera* de 1 a 1,5 mm de longitud los neonatos, y de 4 a 6 mm los adultos (ambos, visibles a simple vista). Es un representante importante de las comunidades dulceacuícolas con gran sensibilidad a una amplia gama de compuestos tóxicos, siendo ésta una de las características principales para que sea usado internacionalmente en pruebas de toxicidad. Asimismo, su ciclo de vida corto y fácil cultivo en laboratorio, permite realizar pruebas rápidas y económicas. (Secretaría de Economía, 2011).

En el presente trabajo de tesis, se estableció como objetivo principal ampliar la información disponible sobre el impacto de los protectores solares en cuerpos de agua continentales de la región, utilizando como organismo de prueba al crustáceo *Daphnia magna*. Esta tesis será de gran utilidad para futuros trabajos, debido que establecerá la base metodológica para la implementación de estudios ecotoxicológicos con protectores solares.

## 1.1 Antecedentes

La liberación de productos de protección solar en los cuerpos de agua es habitual debido al turismo y la necesidad de protegerse de los posibles efectos de la radiación UV. Sin embargo, los componentes químicos de estos productos pueden afectar la flora y fauna acuática de zonas de recreación, principalmente aquellas que reciben millones de turistas al año como es el estado de Quintana Roo, donde se genera una liberación constante de estas sustancias al ambiente.

Hernández (2019) evaluó la toxicidad de protectores solares en zooplancton (rotífera, ostrácoda y cladóceras) y peces (poecilidos) de Quintana Roo. El objetivo de su investigación fue evaluar el efecto de los protectores solares con pruebas de toxicidad aguda, usando nueve protectores solares; cinco no biodegradables y cuatro biodegradables, en cuatro especies de zooplancton (*Brachionus cf ibericus*, *Cypridopsis vidua*, *Diaphanocypris meridana* y *Macrothrix triserialis*) y en una especie de pez (*Gambusia yucatanana*) todas nativas de los ecosistemas del estado de Quintana Roo. Este autor concluyó que las nueve marcas de bloqueadores causan un efecto agudo en las especies nativas; dos biodegradables y cuatro no biodegradables representan un mayor peligro para la biota acuática de Quintana Roo.

Agawin *et al.* (2022) informó sobre la acumulación de filtros UV orgánicos en tejidos de algas marinas en las costas mediterráneas, la cual es una región muy frecuentada por el turismo internacional y donde la especie marina *Posidonia oceánica* (endémica) forma grandes extensiones de praderas. Además, estos autores detallaron por primera vez que los rizomas de *P. oceánica* acumulan internamente el ultravioleta (UV) benzofenona-3 (BP3), benzofenona-4 (BP4), avobenzona (AVO), alcanfor 4-metilbencilideno (4-MBC) y 5-metil benzotriazol (MeBZT) y el conservante metil parabeno (MePB). En particular, los componentes BP4 y MePB se registraron en concentraciones muy elevadas. Este trabajo subrayó la necesidad de más estudios sobre los efectos de los filtros UV en las praderas marinas y comprobar si se debe seguir el ejemplo de otras regiones de prohibir determinados filtros UV para proteger a esta especie.

También, de acuerdo con el estudio de Corinaldesi *et al.* (2018), se evaluó la toxicidad de nanopartículas en ZnO sin recubrimiento y de dos formas modificadas de TiO<sub>2</sub> (Eusolex®- T2000 y Optisol™) de protectores solares comerciales en corales *Acropora spp.* mediante experimentos de laboratorio.

Los resultados demostraron que el ZnO sin recubrimiento induce un blanqueamiento grave y rápido de los corales debido a la alteración de la simbiosis entre coral y las zooxantelas. Además, ZnO afecta directamente a los dinoflagelados simbióticos y estimula el enriquecimiento microbiano en el agua de mar que rodea a los corales. Por el contrario, Eusolex® T2000 y Optisol™ provocaron alteraciones mínimas en las interacciones simbióticas y no provocaron blanqueamiento, resultando más eco-compatibles que el ZnO.

Los filtros ultravioletas de los protectores solares pueden tener efectos nocivos en los arrecifes de coral y dañarlos, aunque aún se están estudiando los mecanismos específicos. Como resultado, algunos destinos turísticos (Hawaim Florida y Palaos) han eliminado ciertos filtros UV como oxibenzona y octinoxato (Agawin *et al.*, 2022).

En un estudio reciente con anemonas de mar y corales, (Vuckovic *et al.*, 2022), descubrieron que el filtro solar orgánico oxibenzona se metaboliza en una fototoxina en las células de estas especies mediante la adición de glucosa.

Respecto a las anemonas, las algas simbiontes absorben la mayor parte de esta fototoxina, haciendo que estas se tornen de color blanco al perderlas. Esta eliminación de las algas protectoras sucede de manera similar en los corales y como resultado el blanqueamiento de coral. Estos autores explican que los hallazgos indican que los protectores solares con oxibenzona son tan tóxicos para las anémonas como para los corales.

De acuerdo con Tovar Sánchez *et al.* (2020) los filtros UV se han detectado en muchas matrices costeras (agua de mar, arena, arena de playa, biota acuática, etc.) y tienen efectos perjudiciales en ecosistemas marinos frágiles como los arrecifes de coral. Además, se ha demostrado que provocan una serie de respuestas biológicas y toxicológicas

diferentes en varios organismos marinos (algas, corales, mejillones, erizos de mar, peces, delfines) que afectan a la supervivencia, el comportamiento, el crecimiento, el desarrollo y la reproducción de las especies. Sin embargo, el impacto ambiental de los protectores solares no se debe únicamente a los ingredientes activos (filtros UV), ya que también se liberan muchos otros compuestos como nutrientes inorgánicos y metales traza cuando el cosmético entra en contacto con el agua de mar. Por lo tanto, la evaluación de su impacto en el medio marino sigue estando poco estudiada debido a la compleja matriz de los protectores solares, asimismo a sus múltiples y desconocidas formulaciones comerciales.

Estas investigaciones contribuyen a comprender mejor los daños que causan los filtros solares orgánicos e inorgánicos, así como los cocteles cosméticos y sus posibles efectos asociados en los ecosistemas y pueden ayudar a elaborar políticas públicas respecto a los niveles máximos permisibles y/o prohibición de filtros UV específicos.

A pesar que en el Estado de Quintana Roo se lleva un control estadístico anual del número de visitantes que arriban en este polo turístico, no se considera la evaluación del impacto que el turismo tiene sobre los ecosistemas acuáticos.

## 1.2 Justificación

En el Estado de Quintana Roo, los ecosistemas son diversos, complejos y a su vez, susceptibles al deterioro, derivado de la presión que ejerce la principal actividad económica del Estado, el turismo. De acuerdo con la SEDETUR, en 2010 hubo una afluencia de 636,745 turistas en este polo turístico, para el año 2016 la afluencia de turistas aumento a 3,778, 208 turistas. En 2021, el Estado cerró el año con un total de 14 millones 823 mil 772 visitantes en toda la entidad.

Debido a la rapidez con la que incrementa el turismo y sus posibles efectos en los ecosistemas, estudios sobre los efectos de los productos de cuidado personal en el medio acuático han tomado relevancia, en particular lo productos como: fragancias, desodorantes, shampoos, crema de cabello, protectores solares, bronceadores, entre otros, los cuales son ampliamente utilizados en adultos y menores de edad.

Se pueden liberar sustancias químicas a la columna del agua al contacto con el cuerpo humano, aún faltan investigaciones para analizar y dimensionar los efectos de estas sustancias en la biota, así mismo determinar la vulnerabilidad del ambiente acuático frente a la acción de estos contaminantes. Por ejemplo, se ha comprobado que los ingredientes comunes de los protectores solares como el oxibenzona son tóxicos para las especies acuáticas, por lo tanto, es pertinente evaluar si los ingredientes que constituyen los protectores solares producen efectos adversos en la fauna de la región. Considerando los resultados del trabajo realizado por Hernández (2019) evaluó la toxicidad de protectores solares en zooplancton (rotífera, ostrácoda y cladócer) y peces (poecilidos) de Quintana Roo, y encontró que las nueve marcas de protectores solares causan un efecto agudo en las especies nativas; dos biodegradables y cuatro no biodegradables representan un mayor peligro para la biota acuática de Quintana Roo.

### 1.3 Preguntas de investigación

- ¿Los protectores solares son tóxicos para el crustáceo *Daphnia magna*?
- ¿En qué concentración y duración de exposición los protectores solares producen efectos tóxicos sobre *Daphnia magna*?
- ¿Los protectores solares clasificados como inorgánicos son menos tóxicos que los clasificados como orgánicos?

### 1.4 Hipótesis

Los protectores solares NIVEA SUN<sup>®</sup>, MAYA SOLAR<sup>®</sup> y BIODERMA<sup>®</sup> tendrán efectos agudos para la especie *Daphnia magna*.

### 1.5 Objetivos

#### 1.5.1 Objetivo general

- Evaluar la toxicidad aguda de tres protectores solares: NIVEA SUN<sup>®</sup>, MAYA SOLAR<sup>®</sup> y BIODERMA<sup>®</sup> en el crustáceo *Daphnia magna*.

#### 1.5.2 Objetivos específicos

- Determinar la Concentración Letal media (CL<sub>50</sub>) de los protectores solares NIVEA SUN<sup>®</sup>, MAYA SOLAR<sup>®</sup> y BIODERMA<sup>®</sup> en *Daphnia magna*.
- Determinar la sensibilidad del organismo de prueba en función al tipo de bloqueo: orgánico e inorgánico.

# CAPÍTULO II

---

## MARCO TEÓRICO

## 2. Marco teórico

Los ecosistemas acuáticos en el mundo son susceptibles a la contaminación por las actividades antropogénicas. Estas actividades pueden generar residuos tóxicos y contaminar diversos compartimientos ambientales, principalmente el sistema acuático. Se conoce que el acuífero de la Península de Yucatán tiene una alta vulnerabilidad (Sánchez *et al.*, 2016), debido a las características cársticas del suelo, que propician zonas de gran permeabilidad a consecuencia de las fracturas y canales de disolución por donde se filtra rápidamente el agua junto con sustancias tóxicas.

En el Estado de Quintana Roo, la contaminación de los sistemas acuáticos tiende a incrementar por el desarrollo poblacional debido a la derrama económica del turismo en esta región del país. De esta manera, los residuos generados por las actividades de la población pueden aumentar en función de la densidad poblacional, generando como resultado la degradación de ecosistemas terrestres y dulce acuícolas.

Muchos productos de uso cotidiano, incluidos los de cuidado personal como cremas corporales, shampoo, protectores solares, etc. llegan a los cuerpos acuáticos como contaminantes emergentes por la descarga directa de aguas residuales no tratadas o por contacto directo del agua con la piel de las personas impregnada de estos productos.

Actualmente existe un creciente interés por los contaminantes emergentes (CE), ya que son compuestos de distinto origen y naturaleza química, cuya presencia en el ambiente, o las posibles consecuencias de esta, han pasado en gran medida inadvertidas, causando problemas ambientales y de riesgo para la salud. Estos compuestos se encuentran diseminados en el ambiente y se han detectado en fuentes de abastecimiento de agua, aguas subterráneas e incluso en agua potable (Gil, 2012). Entre estos contaminantes emergentes se encuentran los protectores solares que llegan al agua por vía directa por los bañistas, e indirecta a través de la descarga de aguas residuales de la zona urbana y hotelera. (Ibe *et al.*, 2015).

## 2.1 Bioensayos

La actividad humana genera grandes cantidades de desechos tóxicos que son liberados al ambiente, ingresando a los diferentes compartimentos de los ecosistemas, ya sea aire, agua, sedimento o biota, el destino va a depender de las propiedades fisicoquímicas, movilidad y persistencia de los compuestos. Los cuerpos de agua reciben directa o indirectamente descargas de contaminantes como consecuencia de las diferentes actividades antrópicas que tienen lugar en las cercanías de estos.

Para evaluar los efectos potencialmente perjudiciales de una sustancia química o una mezcla sobre la biota, es necesario establecer una relación cuantitativa reproducible entre la exposición química y un cierto grado de daño para el organismo o grupo de organismos bajo investigación. La preservación de la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas, así como la protección de la salud humana, se fundamenta en la evaluación del peligro de los productos químicos artificiales, dicha evaluación se basa principalmente en el uso de pruebas de (eco) toxicidad. (Amé *et al.*, 2021)

Los bioensayos son herramientas de diagnóstico adecuadas para determinar el efecto de agentes físicos y químicos sobre organismos de prueba bajo condiciones experimentales específicas y controladas. Estos efectos pueden ser tanto de inhibición como de magnificación, evaluados por la reacción de los organismos, tales como muerte, crecimiento, proliferación, multiplicación, cambios morfológicos, fisiológicos o histológicos.

Los efectos pueden manifestarse a diferentes niveles, desde estructuras subcelulares o sistemas de enzimas, hasta organismos completos, poblaciones o comunidades. (Castillo, 2004).

Al implementar pruebas de toxicidad es necesario efectuar su estandarización, que consiste en establecer la sensibilidad de las especies y la reproducibilidad del experimento frente a un tóxico de referencia. Lo anterior es útil para asegurarse que la respuesta de la población expuesta a cierto agente tóxico se deba al efecto de éste y no a variaciones de la sensibilidad de los organismos. (Silva, 2003)

(Castillo, 2004), define de manera general la toxicidad de un contaminante de acuerdo con:

- Su duración: corto, mediano o largo plazo.
- El método utilizado para incorporar la muestra al sistema de ensayo: estático, con renovación, de flujo continuo
- El propósito para el cual son utilizados: control de calidad de vertidos, evaluación de compuestos específicos, toxicidad relativa, sensibilidad relativa, etcétera.

La selección de los organismos indicadores en la prueba es determinada por su relevancia, prevalencia, accesibilidad, simplicidad de mantenimiento y cultivo, bajo costo, efectos de cuantificaciones y observaciones fáciles (Ángulo, 2013).

Los organismos empleados para los ensayos deben tener alta sensibilidad a los tóxicos, ya que al establecer las concentraciones seguras para ellos se espera proteger a todo el ecosistema, pero hay que tener en cuenta que distintas especies tienen diferente sensibilidad a distintas sustancias químicas. (Sánchez *et al.*, (2009).

## 2.2 Bioensayos de toxicidad aguda y crónica

Dependiendo del tiempo al cual sean expuestos los organismos de prueba en los ensayos de toxicidad, los mismos pueden ser de tipo agudo o crónico. En el primero, los organismos son expuestos durante un periodo de tiempo corto y entran en contacto con el agente tóxico en un evento simple o en múltiples eventos que ocurren con rapidez, generalmente menor a 96 horas y en algunos casos, puede prolongarse a una semana. En el segundo, los organismos son expuestos a concentraciones bajas de un agente dado bien sea continuamente o con alguna otra frecuencia periódica a lo largo de un tiempo mayor a 96 horas o bien, semanas, meses o años, medidos respecto al ciclo de vida del organismo.

En términos generales, estas pruebas de toxicidad se utilizan con varios fines como por ejemplo evaluación de toxicidad de compuestos específicos, control de calidad de efluentes y cuerpos de agua (agua y sedimentos), para derivar criterios de calidad del agua para la liberación segura de productos químicos individuales en cuerpos de agua, determinar la sensibilidad relativa de algún compuesto en particular, determinar la calidad de suelos, etcétera. (Amé *et al.*, 2021).

Tal como se hace la distinción entre exposición aguda o crónica a un tóxico, lo mismo se puede aplicar al tipo de efectos. Los efectos agudos son los que ocurren como resultado de una exposición corta. Por ejemplo, en peces u otros organismos acuáticos, se consideran efectos agudos a los que ocurren entre unas horas y días luego de la exposición, y suelen ser bastante severos (Mortalidad). Los efectos crónicos o sub-crónicos suelen observarse cuando un químico produce efectos adversos luego de una exposición a largo plazo a niveles bajos de uno o más tóxicos, y estos efectos pueden ser letales o sub-letales. En la categoría subletal, la muerte no es el dato principal que se evalúa. Los efectos más comunes son el comportamiento (natación, alimentación, atracción o evitación, e interacciones presa-predador), fisiológicos (crecimiento, reproducción y desarrollo), bioquímicos (niveles de enzimas en sangre y balance iónico, etc.) y los cambios histológicos.

### 2.3 Concentración Letal Media (CL<sub>50</sub>)

Uno de los aspectos importantes en ecotoxicología es la relación entre la concentración de un compuesto químico a la cual se expone un organismo y el consecuente efecto nocivo que le produce. Esta relación, conocida como la relación dosis-respuesta, constituye la base para la evaluación del peligro y el riesgo generado por las sustancias químicas en el medio ambiente. Existen muchas formas de determinar la toxicidad, y aunque los efectos bioquímicos, fisiológicos, reproductivos y de comportamiento son de gran utilidad, el indicador comúnmente más utilizado es la mortalidad del organismo de prueba (variable de respuesta).

La mayoría de las pruebas de toxicidad suministran una estimación de la dosis (o concentración en el alimento, aire o agua) que produce una respuesta tóxica a un nivel del 50%. (Sánchez *et al.*, 2009). En particular, el objetivo de los bioensayos de toxicidad de tipo agudo es determinar la Concentración Letal Media (CL<sub>50</sub>) a partir de métodos gráficos o estadísticos.

La CL<sub>50</sub> es la concentración de una sustancia que se espera produzca la muerte del 50% de los individuos expuestos a dicha sustancia durante un periodo de tiempo determinado. Este valor se expresa comúnmente en miligramos por litro (mg/L). Además, tanto la sustancia como el tiempo de exposición se determinan por diversos factores, como las propiedades fisicoquímicas del tóxico y las características de la especie de prueba.

Dentro de las herramientas y procedimientos establecidos para determinar los valores de la CL<sub>50</sub>, se incluyen los análisis Probit, Logit, y modelos lineales generalizados. También, los procedimientos estadísticos simplifican los datos de dosis-respuesta de una manera funcional y el método Probit se usa ampliamente en el cálculo de la CL<sub>50</sub>.

## 2.4 Evaluación de riesgo ambiental

En las últimas décadas la concientización respecto a la importancia del uso de protectores solares contra los rayos solares UV ha aumentado, lo cual ha marcado históricamente el aumento de diversas marcas de estos productos y su consumo. Dada la demanda de estos productos, se ha cuestionado el efecto de algunos ingredientes que se utilizan en la formulación de dichas cremas una vez son liberados en el medio acuático.

Los protectores solares están constituidos por los siguientes filtros (SERNAC, 2020)

- Filtros físicos: son ingredientes activos que poseen una composición inorgánica en su estructura molecular, tales como, pigmentos minerales como el dióxido de titanio, el óxido de zinc, entre otros. Estos filtros tienen la capacidad de reflejar o dispersar los rayos solares UV. Son de amplio espectro; retienen las radiaciones solares de la zona del ultravioleta (280-400 nm), las del visible (400-800 nm) y las del infrarrojo (800-1.800 nm).
- Filtros químicos: los ingredientes activos de su composición poseen una estructura molecular orgánica, tales como, compuestos orgánicos aromáticos, que pueden absorber la radiación ultravioleta. El mecanismo de acción consiste en que la energía absorbida se emite nuevamente, pero como radiación térmica.

Actualmente existen 16 ingredientes activos de los protectores solares aprobados por Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos (FDA) (Tabla 1).

Tabla 2. Listado de activos cosméticos de protección solar, presentando capacidad de protección y mecanismos de acción (Filtros físicos o químicos). (SERNAC, 2020).

Activos de protección solar	Capacidad de protección		Mecanismo	Número CAS
	UVA	UVB	Químico (Q) / Físico (F)	
Ácido amino benzoico	1	4	Q	150-13-0
Avobenzona (butylmethoxydibenzoylmethane)	4	2	Q	70356-09-1.

<b>Cinoxato</b>	2	4	Q	104-28-9
<b>Dioxibenzona</b>	3	4	Q	131-53-3
<b>Ecamsule</b>	4	2	Q	92761-26-7
<b>Homosalato</b>	1	4	Q	118-56-9
<b>Mentil antralinato</b>	3	4	Q	134-20-3
<b>Octocrileno</b>	2	4	Q	6197-30-4
<b>Octil metoxicinamato (Ethylhexyl methoxycinamato)</b>	2	4	Q	5466-77-3
<b>Octil salicilato (Ethylhexyl salicilato)</b>	1	4	Q	118-60-5
<b>Oxibenzona (Benzophenone -3)</b>	3	4	Q	131-57-7
<b>O Padimato</b>	1	4	Q	21245-02-3
<b>Fenilbenzimidazol</b>	1	4	Q	716-79-0
<b>Sulisobenzona</b>	3	4	Q	4065-45-6
<b>Dióxido de titanio</b>	3	4	F	13463-67-7
<b>Trolamina de salicilato</b>	1	4	Q	2174-16-5
<b>Óxido de zinc</b>	4	4	F	1314-13-2.
<i>Nota: 1= protección mínima, 2=protección limitada, 3=protección considerable, 4=protección extensiva.</i>				

La capacidad de protección de los activos cosméticos se refiere a la barrera para minimizar los efectos nocivos de un exceso de exposición solar. Los activos cosméticos pueden reflejar, dispersar o absorber ciertas radiaciones con el fin de proteger la piel. La protección que brindan los protectores solares se indica mediante el Factor de Protección Solar o FPS (su sigla en inglés es SPF: Sun Protection Factor). Este factor señala el número de veces que el producto aumenta la capacidad de defensa natural de la piel frente al eritema o enrojecimiento previo a la quemadura. (SERNAC, 2020).

La preocupación de los posibles riesgos para la biología acuática provocados por los filtros químicos UV, tanto orgánicos como inorgánicos, presentes en los filtros solares aunado al aumento del turismo asociado a actividades al aire libre y a la costa, hace pensar que la presencia de estos productos en el medio acuático sea cada vez mayor. La

información reciente acerca de los efectos adversos sobre la biota ha provocado que algunos de los componentes utilizados en la elaboración de estos productos, se prohíban en algunos países (Islas Hawái, Florida, Bonaire, Islas Vírgenes y Palaos), comúnmente costeros y con una alta demanda turística.

En México, la Secretaría de gobernación emitió en el año 2010 y reformó en el 2014 (DOF 11/03/2014), el acuerdo por el que se determina las sustancias prohibidas y restringidas en la elaboración de perfumería y belleza, como son los productos cosméticos. Dentro de estas sustancias abarcan colorantes, conservadores, ésteres, laca, oxidantes, pigmento, sales y sustancias para protección solar.

Como una medida de protección a la salud de la población, se requiere garantizar la condición idónea de los productos destinados al uso de las personas, toda vez que, de las sustancias susceptibles de emplearse en la elaboración de productos, existen algunas que pueden tener efectos tóxicos o implicar cualquier otro riesgo para la salud, es necesario identificar claramente y prohibir su empleo (Secretaria de Gobernación, 2010).

Sin embargo, en México no hay restricciones respecto a los filtros UV de los protectores solares como el octinoxato y oxibenzona como en otros países, pese a la información disponible respecto a dichos filtros y los impactos en la biota.

La evaluación del riesgo ambiental es un proceso de asignación de magnitudes, rangos y probabilidades a los efectos adversos que pueden derivar del uso de sustancias químicas como los protectores solares. Los riesgos ecológicos, por lo general, son juzgados basándose en el efecto sobre los organismos o la comunidad de poblaciones y en los valores finales, como la  $CL_{50}$ , calculados a partir de ensayos ecotoxicológicos. (Witters, 1998).

## **2.5 Ecosistemas acuáticos de Quintana Roo**

El estado de Quintana Roo, ubicado en la frontera sur de México, tiene una ubicación geográfica privilegiada. Las playas de arena blanca bordeadas por el azul turquesa del mar Caribe, los majestuosos arrecifes, así como lagunas y manglares, reconocidos mundialmente por su belleza, son rasgos naturales de esta región, que evidencian el complejo mosaico de ecosistemas estrechamente interconectados y naturalmente frágiles.

Estos ecosistemas, además de tener una gran relevancia ecológica, son importantes sitios turísticos y relevantes para inversionistas nacionales e internacionales. En 2019, México ocupó el segundo lugar a nivel mundial de los principales destinos turísticos con 51,128 millones de turistas. En Quintana Roo el turismo se encuentra principalmente en Cancún, la Riviera Maya y Tulum, ubicados en el norte del Estado, asimismo en años más recientes, Mahahual y Bacalar, localizados en el sur.

La laguna de Bacalar, también conocida como Laguna de los Siete Colores, se ubica a 35 Km de Chetumal, la ciudad capital. Bacalar es el cuerpo de agua dulce más grande de la península de Yucatán, tiene una longitud aproximada de 60 km, entre 20 m y 2 km de ancho y sus niveles de profundidad van desde 15 cm hasta 80 m.

El suelo kárstico (roca caliza) que contiene al agua dulce y cristalina, sus estrechos canales y cenotes, son el marco de una magnífica postal de increíbles tonos de azules. Su riqueza biológica se distingue por albergar el mayor arrecife de estromatolitos de agua dulce del mundo, considerados como la forma de vida más antigua del planeta, y por poseer una gran diversidad de humedales y manglares, donde habitan especies como la espátula rosada, la garza blanca y gris, la cigüeña, el mono araña y el puma. (Palafox, 2022).

Los manglares y humedales son ecosistemas de gran importancia, tanto para el mantenimiento de la biodiversidad como para las comunidades locales por la amplia variedad de servicios ambientales que aportan como son la cobertura forestal, hábitat de fauna, generación de oxígeno, fuente de alimento y nutrientes, almacén de carbono, filtran y almacenan agua y regulan el clima.

Entre los diferentes tipos de humedales destacan los manglares. Estos son ecosistemas de transición entre el medio marino y terrestre, por lo que su importancia radica en ser sistemas abiertos que presentan un alto flujo de energía y nutrientes (Belmonte *et al.*, 2004).

México ocupa el cuarto lugar en el mundo en superficie de manglar. En 2020, se registró una extensión total de 905 086 ha, que se distribuye en 17 estados costeros. Esto corresponde al 6.7% de la cobertura global de manglares y al 0.46% de la superficie continental de México. A nivel estatal, a diferencia de fechas anteriores, en 2020 Quintana Roo fue el estado con mayor superficie de manglar, con 247,017 ha (27.3% de la superficie nacional), seguido de Campeche, con 200,279 ha (22.1%), y Yucatán, con 96,873 ha (10.7%). (Velázquez-Salazar *et al.*, 2020).

También, los ecosistemas representativos del estado son las dolinas o cenotes y cuyos sistemas son complejos y dinámicos, que les confiere una gran diversidad y abundancia de especies endémicas, y al ser espacios subterráneos de agua, con conexión con el exterior, y con el nivel freático, suelen ser susceptibles a diversos contaminantes (Beddows *et al.*, 2007).

## 2.6 Organismo bioindicador

Un organismo bioindicador es aquel que tiene requerimientos concretos en relación con un conjunto conocido de variables físicas y químicas, de tal forma que tales condiciones fuera del límite de preferencia, provoca un cambio en su presencia/ausencia, densidad, morfología, fisiología o en su comportamiento. (Johnson *et al.*, 1992, citado en Santa Olalla *et al.*, 2005)

Los factores que regulan la abundancia o su presencia /ausencia pueden ser de naturaleza física, química o biológica, y a su vez pueden actuar sobre cualquier etapa del ciclo de vida del organismo indicador. Un buen indicador es aquel organismo que vive dentro de un rango de tolerancia ambiental muy restringido de modo que un cambio mínimo afecta su presencia o abundancia (Santa Olalla *et al.*, 2005).

Criterios para la selección de los organismos indicadores (Ramírez-Romero y Mendoza-Cantú, 2008):

- Fácil obtención (cepario).
- Fácil mantenimiento.
- Representatividad ecológica.
  - De un grupo funcional (productores primarios, herbívoros, carnívoros, descomponedores).
  - De un grupo taxonómico (bacterias, peces, insectos, etc.).
  - De una ruta de exposición (dérmica, ingestión, branquial, combinadas, etc.).
- Con información sobre su sensibilidad a compuestos tóxicos (base de datos).
- Respuesta relevante a los compuestos tóxicos.
- Sensibilidad a bajas concentraciones.
- Sensibilidad a una amplia variedad de compuestos tóxicos.
- Sensibilidad no redundante con otras especies.
- Con información sobre su biología.

La fuente de organismos para su posterior utilización en ensayos de toxicidad puede ser a partir de poblaciones naturales o provenientes de cultivos en laboratorio. En este

sentido, algunos autores mencionan la historia de la población de donde se extrajeron los animales como un factor que puede modificar la respuesta en ensayos de toxicidad.

Aquí estarían involucrados los aspectos de comportamiento y adaptación al medio según los cambios ocurridos en el tiempo, además de considerar que las variaciones geográficas y genéticas de una población dada, conducirían a diferencias en la sensibilidad a los tóxicos. Además, hay que considerar la historia de exposición a contaminantes de la población estudiada, que podría haber sufrido selecciones o impactos en la variabilidad genética. De lo antedicho se desprende la importancia de realizar ensayos de toxicidad utilizando ejemplares obtenidos preferiblemente de cultivos en condiciones controladas de laboratorio, disminuyendo la variabilidad de respuesta y de esta forma poder realizar comparaciones entre resultados. Se recomienda utilizar especies de pruebas para las cuales existan protocolos estandarizados.

Entre las especies más utilizadas a nivel internacional para realizar bioensayos con agua dulce podemos mencionar el crustáceo *Daphnia magna*, peces ciprinidos como *Pimephales promelas* y la trucha arcoíris *Oncorhynchus mykiss*, especies de algas unicelulares como *Pseudokirchneriella subcapitata*, y semillas de lechuga *Lactuca sativa*.

Para realizar ensayos con agua salada, se suelen utilizar las especies de crustáceos *Mysidopsis bahía* o *Palaemonetes sp.*, rotíferos como *Brachionus sp.*, moluscos bivalvos *Mytilus edulis*, especies de anélidos y peces. (Amé et al., 2021).

## 2.7 Cladóceros

Suborden de crustáceos braquiópodos, al que pertenecen las comúnmente llamadas “pulgas de agua”, tienen el cuerpo cubierto por un caparazón dispuesto en dos valvas que cubren el tronco y los apéndices. (Secretaría de Economía, 2011). Dentro del grupo de los cladóceros, las especies del género *Daphnia* son las más utilizadas como organismo de referencia en pruebas de toxicidad. La amplia distribución geográfica, el importante papel que cumplen en la comunidad zooplanctónica, la facilidad de cultivo en el laboratorio y la reproducción partenogenética (lo cual asegura una uniformidad de respuesta) y el corto ciclo de vida con la producción de un alto número de crías, han hecho a este grupo ideal para la evaluación de toxicidad en muchos países. (Díaz-Báez *et al.*, 2004).

Otra característica importante de este grupo es la amplia sensibilidad a sustancias tóxicas, en algunos casos mayor a la de los peces. Además, existe una extensa información sobre las técnicas de cultivo, los requisitos de temperatura, luz y nutrientes, asimismo se conoce su respuesta a muchos tóxicos. La bibliografía es especialmente extensa para *Daphnia magna*, *Daphnia pulex*, *Daphnia similis* y *Ceriodaphnia dubia*. (Díaz-Báez *et al.*, 2004). Los requerimientos para su cultivo no son muchos ni costosos, y dado su tamaño pequeño, requieren de poca agua comparado con el cultivo de peces.

Las pruebas de toxicidad crónica o de ciclo de vida pueden hacerse entre una y tres semanas y el seguimiento de la reproducción, en un periodo de 21 días. Aunque el tiempo para estudios crónicos con invertebrados es mayor que para algas, y menor que para peces.

A pesar de que los cladóceros son nadadores libres y se consideran más apropiados para pruebas con matrices acuosas, ellos se han utilizado exitosamente en pruebas con suelo o sedimentos. En estos ensayos se usan lixiviados o extractos de suelos o sedimentos (Díaz-Báez *et al.*, 2004).

### 2.7.1 *Daphnia*

Dentro del grupo de los cladóceros, las especies del género *Daphnia* son las más utilizadas como organismos de prueba o de referencia en pruebas de toxicidad.

El género *Daphnia* pertenece al orden Cladóceras dentro de la clase Crustácea, y las especies *D. magna*, *D. pulex* y *D. similis*, son muy utilizadas en pruebas de toxicidad por lo que existe numerosa información sobre técnicas de cultivo, requisitos en cuanto a iluminación, temperatura y nutrientes. (Amé *et al.* 2021)

La *Daphnia* se caracteriza por presentar un cuerpo oval, achatado lateralmente sin segmentación externa. El caparazón cubre parcial o totalmente el cuerpo excepto la cabeza y las antenas. La cabeza se proyecta centralmente y a ella se articulan un par de antenas birrámeas que se utilizan para la natación. En general, las mudas ocurren de manera simultánea con la liberación de las crías o de los efípios (Díaz-Báez *et al.*, 2004).

La *Daphnia* es un organismo filtrador y utiliza los apéndices torácicos (5 pares) para esta función. Las cerdas de estos apéndices actúan como tamices para la filtración de algas, bacterias y partículas finas (<30 µm). El alimento obtenido se lleva a la boca donde es molido por las mandíbulas y se transporta por el intestino donde va completando la digestión. La retención de alimento en el sistema se realiza entre 0.5 a 3 horas. A nivel de la cabeza, se localiza un ojo compuesto grande y un ocelo pequeño. Estos ojos son sensibles a cambios en la calidad y la cantidad de luz, así como polarización. Los ovarios se localizan a cada lado del intestino; bajo condiciones ambientales favorables, las hembras alcanzan la madurez reproductiva a los diez o doce días de nacidas. En general, los machos se diferencian por tener un menor tamaño, las antenas son más largas, el postabdomen está modificado y presentan un par de patas con garfios que son utilizados para la unión con la hembra durante la copulación (Díaz-Báez *et al.*, 2004).

El crecimiento individual de los dáfnidos ocurre rápida e inmediatamente después de la muda. La tasa de crecimiento es más alta al comienzo y disminuye hacia el final del ciclo de vida. En éste se puede diferenciar cuatro etapas o estadios: 1) huevo, 2) neonato, 3) juvenil y 4) adulto. El número de estadios por periodo, así como su duración depende de la especie (Díaz-Báez *et al.*, 2004).

### 2.7.2 *Daphnia magna*

Es un crustáceo del Suborden *Cladóceras* de 1- 1,5 mm de longitud los neonatos, y de 4-6 mm los adultos (ambos, visibles a simple vista) (Figura 1).

Es un representante importante de las comunidades dulceacuícolas con gran sensibilidad a una amplia gama de compuestos tóxicos, siendo ésta una de las características principales para que sea usado internacionalmente en pruebas de toxicidad. Asimismo, su ciclo de vida corto y fácil cultivo en laboratorio, permite realizar pruebas rápidas y económicas. (Secretaría de Economía, 2011).



Figura 1. *Daphnia magna*. Hembra Partenogenética.  
(Díaz-Báez *et al.*, 2004).

La especie *Daphnia magna* es la más utilizada por su sensibilidad y ha sido adoptada por instituciones encargadas de las normas de control del medio ambiente como USEPA (EE.UU.), OECD (Comunidad Europea), entre otras. Además, su importante papel en la comunidad zooplántica de las aguas dulces del mundo, su fácil cultivo y su anatomía hacen a esta especie un bioindicador ideal para la evaluación de toxicidad a nivel mundial.

## 2.8 Protectores solares

Los rayos UV son ondas electromagnéticas de corta longitud de onda, y se extienden desde los 100 hasta 400 nm. Esta radiación consiste en rayos UVA (ultravioleta A) y UVB (ultravioleta B) de acuerdo con su longitud de onda, por ejemplo:

- La radiación UVA tiene longitud de onda larga (entre 320 y 400 nm) y constituye el 98% de la radiación UV contenida en la radiación solar. Puede atravesar la capa de ozono, el vidrio y la dermis profunda de la piel.
- La radiación UVB tiene longitud de onda media (290 a 320 nm) y causa el mayor daño inmediato a la piel.

En la Tierra se recibe 20 veces más radiación ultravioleta A que B, pero esto depende de la hora del día, la latitud y las condiciones atmosféricas. Tanto la radiación ultravioleta A como la B causan mutaciones genéticas e inmunosupresión, y estos dos eventos biológicos pueden desencadenar cáncer.

Con la aparición de los protectores solares, la necesidad de crear sustancias cada vez más adecuadas y las nuevas estrategias de fotoprotección, se ha logrado la prevención de alteraciones causadas directamente por la radiación solar ultravioleta (Moreno, 2010).

Las sustancias utilizadas en los protectores solares son o bien partículas que reflejan o dispersan la luz solar, o bien compuestos orgánicos complejos que absorben el componente UV de la luz antes que alcance la piel. El FPS (Factor de Protección Solar) mide el factor multiplicativo por el cual una persona puede permanecer expuesta al sol sin quemarse (Baird, 2012) (Tabla 1).

A continuación, se presenta una breve descripción de los protectores utilizados en esta investigación.

### 2.8.1 NIVEA SUN®

NIVEA SUN® Protección e hidratación de 200 mL es un protector solar de la marca NIVEA SUN®, esta marca forma parte de la compañía alemana Beiersdorf AG, especializada en productos de cuidado personal (Figura 2).

Dentro de sus beneficios este protector solar ofrece un FPS (Factor de protección solar) 50+ contra los rayos UVB y UVA (Tabla 2).

También, promete hidratación prolongada con Pantenol, ser resistente al agua, una textura ligera, rápida absorción, no dejar residuos blancos en la piel y ayudar a prevenir el envejecimiento prematuro de la piel causado por la exposición al sol.



Ingredientes activos:  
octocrileno, homosalato,  
butil metoxidibenzo metano,  
salicilato de etilhexilo.

Figura 2. Protector solar NIVEA SUN®.

### 2.8.2 MAYA SOLAR®

De acuerdo con información del sitio oficial, MAYA SOLAR® es hoy la marca natural de mayor venta en productos para el cuidado de la piel bajo el sol en el caribe mexicano, garantiza la máxima biodegradación y la protección de las reservas coralinas, la flora y la fauna. Aseguran que sus productos cuentan con un 97% de ingredientes naturales. Su factor de protección solar 50+, garantiza un 98% de protección contra los rayos UVA y UVB.

Afirman ser biodegradables no contaminantes, es decir, tiene la capacidad de descomponerse de forma natural y ecológica en un plazo muy corto. Aseguran el cuidado de la piel sin posibles daños secundarios generados por los ingredientes químicos como diferentes tipos de cáncer (Figura 3).

El protector solar en crema además de un FPS + 50 ofrece rápida absorción, afirma no ser graso, aceptado en ecoparques de la familia Xcaret, contar con efecto prolongado, y basado en extractos naturales que nutren y protegen la piel. También, se comprometen en no dañar los océanos ni la vida marina.



Ingredientes activos; óxido de zinc y dióxido de titanio

Figura 3. Protector solar MAYA SOLAR®.

### 2.8.3 BIODERMA®

Es un protector solar dermatológico desarrollado y distribuido por BIODERMA® de la marca NAOS enfocada en la ecobiología. Su producto Photoderm NUDE Touch promete ofrecer una protección muy alta frente a los UVA/UVB 100% mineral con un FPS de + 50 entre otros beneficios como el control de grasa, la unificación de la tez y la reducción de imperfecciones.

De acuerdo con la página oficial de la marca, BIODERMA® está comprometida con el medio acuático. Por esta razón afirman que consideran de vital importancia medir el impacto que tienen sus productos en todos los ecosistemas acuáticos con los que podrían entrar en contacto. Afirman realizar testeos de todos los productos para comprobar que en efecto son respetuosos con los ecosistemas y la vida marina.

La marca cuenta con su sello Coral Safe, afirman que este sello garantiza la seguridad de los productos para los ecosistemas acuáticos, incluidos los arrecifes de coral. Garantizando la usencia de toxicidad evaluada en corales, microalgas NF ISO 10253, daphnia OCDE 20. (Figura 4)



Ingredientes activos: óxido de zinc, dióxido de titanio

Figura 4. Protector solar BIODERMA®.

Tabla 2. Clasificación de protectores solares. Realización propia con base a la información brindada por las etiquetas de las cremas.

MARCA DE BLOQUEADOR	ETIQUETA COMERCIAL	INGREDIENTES	ORGÁNICO	INORGÁNICO	FACTOR DE PROTECCIÓN SOLAR
NIVEA SUN®	BIODEGRADABLE	AGUA, HOMOSALATO, BUTIL METOXIDIBENZO METANO, SALICILATO DE ETILHEXILO, OCTOCRILENO, GLICERINA, ALCOHOL DESNATURALIZADO, ALMIDÓN DE TAPIOCA, BIS-ETILHEXILOXIFENOL METOXIFENIL TRIAZINA, ALCOHOL BEHENÍLICO, ALCOHOL CETEARÍLICO, METILPROPANODIOL, ÁCIDO FENILBENZIMADAZOL SULFÓNICO, DIMETILSILILILATO DE SÍLICE, COPOLÍMERO VH/HEXADECENO, PANTENOL, TOCOFEROL, ESTEAROIL GLUTAMATO SÓDICO, ETILHEXIGLICERINA, ACRILATOS/C10-30 ALQUIL ACRILATOS CROSSPOLYMER, CARBOMER, GOMA XANTANA, GOMA DE CELULOSA, IMINODISUCCINATO TETRASÓDICO, CLORURO DE SODIO, HIDRÓXIDO DE SODIO, EDTA TRISÓDICO, PANTOLACTONA, ÁCIDO CÍTRICO, FENOXIETANOL, LINALOOL, ALCOHOL BENCÍLICO, ALFA-ISOMETIL IONONA, CITRONELOL, BENZOATO DE METILO, BHT, PARFUM.	✓		50+
MAYA SOLAR®	BIODEGRADABLE	OXIDO DE ZINC, DIÓXIDO DE TITANIO, ACEITE DE CASCARA DE COCO, ACEITE DE GIRASOL ALCOHOL ETÍLICO, AGUA PURIFICADO, ACEITE DE PALMA, LECITINA DE SOYA, DIMETICONA, CERA DE ABEJA, ACEITE DE KERNEL DE PALMA, FRAGANCIA, EXTRACTO SEMILLA DE TORONJA.		✓	50+
BIODERMA®	BIODEGRADABLE DERMATOLÓGICO	ÓXIDO DE ZINC [NANO], DIMETICONA, ISODODECANO, ISOESTEARATO DE ISOSTEARILO, ACEITE DE BUTYROSPERMUM PARKII (KARITÉ), DIÓXIDO DE TITANIO [NANO], CAPRILATO DE PROPILHEPTILO, DIPROPILENGLICOL, METACRILATO DE METILO CROSSPOLYMER, SÍLICE, POLIMETILSILSESQUIOXANO, AQUA/AGUA/EAU, ÁCIDO POLIHIDROXIESTEÁRICO, HDI/TRIMETIOL HEXILACTONA CROSSPOLYMER, ÓXIDOS DE HIERRO (CI 77492), PEG-10 DIMETICONA, POLISILICONA-11, TRIETOXICAPRILILSILANO, ÁCIDO SALICÍLICO, BUTILENGLICOL, ÓXIDOS DE HIERRO (CI 77491), CAPRILGLICINA, GALATO DE PROPILO, ÓXIDOS DE HIERRO (CI 77499), LECITINA HIDROGENADA, CAPRILIL GLICOL, DECIL GLUCÓSIDO, TOCOFEROL, ECTOÍNA, MANITOL, XILITOL, ALÚMINA, ÓXIDO DE MAGNESIO. [BI 739]		✓	50+

# CAPÍTULO III

---

## MATERIALES Y MÉTODOS

## **Materiales y métodos**

Se seleccionó a *Daphnia magna* (neonatos) como organismo bioindicador para evaluar la toxicidad de los protectores solares NIVEA SUN<sup>®</sup>, MAYA SOLAR<sup>®</sup> y BIODERMA<sup>®</sup>. Se realizaron bioensayos de toxicidad aguda de tipo estático sin renovación a 48 hrs. para NIVEA SUN<sup>®</sup> y MAYA SOLAR<sup>®</sup>, y a 72 hrs. para BIODERMA<sup>®</sup>.

### **3.1 Organismo de prueba: *Daphnia magna***

Los cladóceros se obtuvieron en un criadero particular a las afueras de Mérida, Yucatán. Los organismos no pasaron por un periodo de aclimatación, durante las pruebas exploratorias debido que se pudo observar mejores resultados realizando las pruebas con los organismos recién colectados del criadero.

La identificación se realizó con ayuda de un estereoscopio, para ello se tomaron muestras con una pipeta de 3 mL de capacidad y se colocaron en cajas Petri, se seleccionaron los organismos con un tamaño similar, coloración rojiza y que presentaran movilidad. Posteriormente, se colocaron en un recipiente de plástico de 27x17x10 cm aproximadamente.

Se realizaron tres bioensayos preliminares del protector solar NIVEA SUN<sup>®</sup>, en los dos primeros bioensayos se utilizaron 60 organismos y en el preliminar 3 se agregó una concentración por lo que se utilizaron 70 organismos de *Daphnia magna*, para el bioensayo definitivo se utilizaron 210 daphnios: en total 400 *Daphnias*.

Se efectuaron cuatro bioensayos preliminares con MAYA SOLAR<sup>®</sup>, en los tres primeros bioensayos se utilizaron 60 organismos, en el preliminar 4 se agregaron dos concentraciones aumentando el número de organismos a 80, para el bioensayo definitivo se utilizaron 400 ejemplares de *Daphnia magna*: en total 500.

En el caso del protector solar BIODERMA® fue más compleja, requirió más pruebas preliminares, en total 6. El número de organismos utilizados para cada bioensayo preliminar tuvo variaciones, en total se utilizaron 1660 *Daphnias*.

Los organismos restantes se mantuvieron en peceras, en la misma área donde se desarrollaron las pruebas y se alimentaron una vez al día con microalgas. Las condiciones del área de trabajo fueron: temperatura: 18-22°C, fotoperiodo: 16 horas luz/8 horas oscuridad y sin aireación.

### 3.2 Limpieza de materiales

Los materiales que se emplearon durante el proceso de selección de organismos, bioensayo preliminar y bioensayo definitivo, se limpiaron cuidadosamente para eliminar impurezas y evitar interferencias en los resultados (Anexo 1).

Todos los materiales de cristal fueron sometidos a una limpieza con ácido clorhídrico al 20%, se dejaron reposar durante 24 horas y posteriormente se aclararon con agua destilada (Figura 5). La estructura de los materiales de plástico podría sufrir modificaciones o daños al estar en contacto con ácidos, por lo que se utilizaron únicamente materiales nuevos, con empaque cerrado para garantizar su limpieza.



Figura 5. Limpieza de materiales con ácido clorhídrico al 20%.

### 3.3 Preparación de diluciones

Los bloqueadores utilizados fueron de las marcas: MAYA SOLAR<sup>®</sup>, BIODERMA<sup>®</sup> y NIVEA SUN<sup>®</sup>. En el caso de MAYA SOLAR<sup>®</sup> y BIODERMA<sup>®</sup> sus ingredientes activos son clasificados como inorgánicos, al contrario del NIVEA SUN<sup>®</sup>, sus ingredientes activos son clasificados como orgánicos (Tabla 2). Para cada bloqueador se preparó una solución madre al 0.1% (1g) del producto en un litro de agua purificada (Hernández, 2019). Se siguieron los procedimientos establecidos por la Norma Mexicana (MMX-AA-087-SCFI-2010). Evaluación de toxicidad aguda con *Daphnia magna*, Straus (Crustacea- Cladócer) - Método de prueba.

A partir de esta solución se prepararon las diferentes diluciones para los bioensayos presentadas a continuación. En el proceso de determinación de las concentraciones a utilizar para cada protector, se requirió realizar diversas pruebas exploratorias.

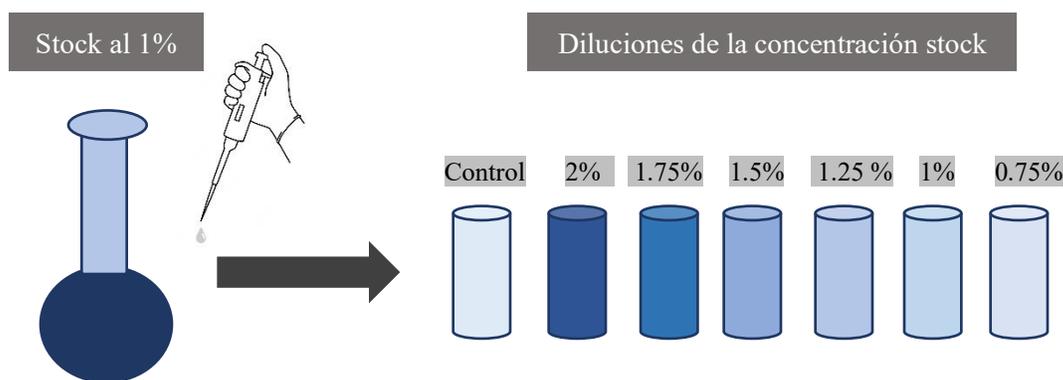


Figura 6. Preparación de diluciones para la prueba preliminar en la especie *Daphnia magna* utilizando como tóxico el protector solar NIVEA SUN<sup>®</sup>.

Tabla 3. Concentraciones de volumen de muestra y volumen de agua utilizando como tóxico protector solar NIVEA SUN<sup>®</sup>.

Concentración (%)	Volumen de muestra (mL)	Volumen de agua (mL)
2	2	98.
1.75	1.75	98.25
1.5	1.5	98.5
1.25	1.25	98.75
1	1	99
0.75	0.75	99.25

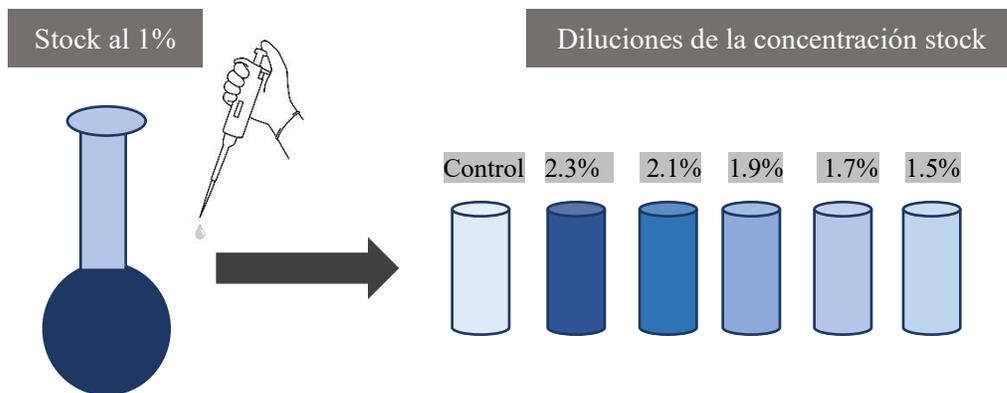


Figura 7. Preparación de diluciones para la prueba preliminar en la especie *Daphnia magna* utilizando como tóxico protector solar MAYA SOLAR®.

Tabla 4. Concentraciones de volumen de muestra y volumen de agua utilizando como tóxico protector solar MAYA SOLAR®.

Concentración (%)	Volumen de muestra (mL)	Volumen de agua (mL)
2.3	2.3	97.7
2.1	2.1	97.9
1.9	1.9	98.1
1.7	1.7	98.3
1.5	1.5	98.5

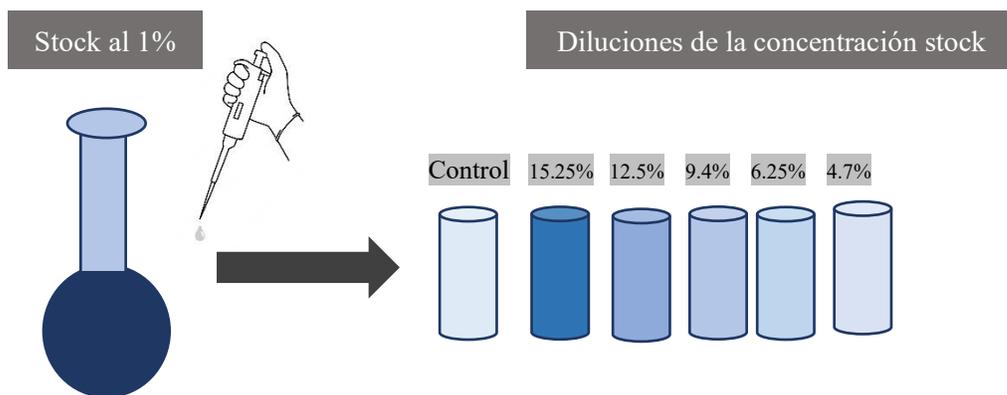


Figura 8. Preparación de diluciones para la prueba preliminar en la especie *Daphnia magna* utilizando como tóxico protector solar BIODERMA®.

Tabla 5. Concentraciones de volumen de muestra y volumen de agua utilizando como tóxico protector solar BIODERMA®.

<b>Concentración (%)</b>	<b>Volumen de muestra (mL)</b>	<b>Volumen de agua (mL)</b>
<b>15.25</b>	15.25	84.75
<b>12.5</b>	12.5	87.5
<b>9.4</b>	9.4	90.6
<b>6.25</b>	6.25	93.75
<b>4.7</b>	4.7	95.3

### 3.4 Pruebas exploratorias

Las pruebas exploratorias otorgan información preliminar que permite examinar y analizar el comportamiento de los organismos expuestos y establecer el intervalo de concentraciones que se deben aplicar para la determinación de la  $CL_{50}$  de una muestra a partir de en una prueba definitiva.

Se tomó como referencia las concentraciones de la evaluación de la toxicidad de bloqueadores solares en zooplancton (Rotífera, ostrácoda y cladóceras) y peces (Poecilidos) de Quintana Roo realizada por Hernández (2019), con el objetivo de realizar las primeras pruebas exploratorias, las concentraciones se fueron modificando de acuerdo con la reacción de los organismos, descartando las concentraciones que tuvieran el 0% de mortalidad hasta encontrar un intervalo que representara mortalidad arriba del 50% y por debajo del 50% para tener un margen amplio que permita calcular la  $CL_{50}$  (Figura 9).

Los organismos fueron expuestos a los diferentes bloqueadores registrando la mortalidad a las 48 h de exposición.

A las 24 h es necesario hacer una revisión de los recipientes de modo que si se observa el 100 % de mortandad en ellos pueda suspenderse y reiniciarse a una concentración menor.

Al término de las 48 h se toman las lecturas finales para definir las nuevas concentraciones que se aplicarían para la prueba definitiva. Se recomienda excluir de dicha selección las concentraciones en que se observen valores de 100 y 0 % de efecto (Secretaría de Economía, 2011).



Figura 9. Bioensayos exploratorios de las tres marcas de protectores solares.

### 3.4.1 Prueba exploratoria utilizando el protector solar NIVEA SUN®

Para el primer bioensayo preliminar con NIVEA SUN® se utilizó como referencia las concentraciones establecidas en la evaluación de la toxicidad de bloqueadores solares en Hernández (2019). En esta investigación establece las concentraciones de 1%, 0.5%, 0.25%, 0.10% y 0.05% a partir de un stock de 1g/L.

Los resultados de mortalidad a las 48 h nos permitieron determinar que se requerían concentraciones mayores para lograr la mortalidad del 50%. A partir de estos resultados, se decidió hacer el siguiente bioensayo exploratorio con una concentración por encima y tres concentraciones por debajo de 1% siendo; 1.25%, 1%, 0.75%, 0.5% y 0.25%.

El valor más cercano al 50% de mortalidad en esta prueba se encontró en la concentración de 1.25%.

En el tercer bioensayo exploratorio se modificaron los valores. (Figura 10). Los resultados fueron favorables teniendo como resultado la mortalidad al 50% de los organismos en este rango de concentraciones (Tabla 6).

Tabla 6. Resultados del tercer bioensayo exploratorio con NIVEA SUN®.

<b>Concentraciones %</b>	<b>24 horas</b>	<b>48 horas</b>
<b>Control</b>	10	9
<b>2</b>	2	9
<b>1.75</b>	2	7
<b>1.5</b>	3	5
<b>1.25</b>	2	4
<b>1</b>	1	2
<b>0.75</b>	1	2

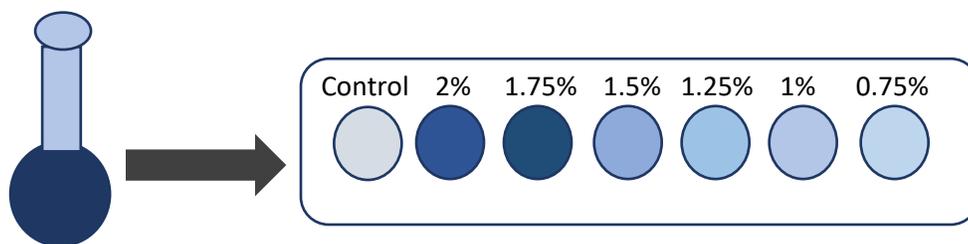


Figura 10. Diseño de la prueba preliminar de las concentraciones definitivas para el bioensayo utilizando como protector solar NIVEA SUN<sup>®</sup>.

### 3.4.2 Prueba exploratoria utilizando el protector solar MAYA SOLAR®

Para el bioensayo preliminar 1 utilizando al protector solar MAYA SOLAR® como tóxico tomamos de referencia las concentraciones que utilizamos en el bioensayo preliminar 1 de BIODERMA® (arbitrariamente), ambos pertenecientes al grupo de protectores solares inorgánicos, se utilizaron las siguientes concentraciones; 1.1%, 0.9%, 0.7% 0.5% y 0.3%, a partir de un stock de 1g/L.

A 48 horas, la mortalidad fue muy baja. Con estos resultados tomamos la decisión de aumentar las concentraciones a 1.7%, 1.5%, 1.3%, 1.1% y 0.9%, descartando las tres más bajas ya que no presentaban relevancia.

Los resultados en el tercer bioensayo preliminar fueron mejores, pero aún no alcanzábamos el 50% de mortalidad.

Consideramos pertinente incluir tres concentraciones superiores a 1.7%, siendo estas 1.9%, 2.1% y 2.3%.

Los resultados del cuarto bioensayo fueron favorables. (Tabla 7). A partir de estas concentraciones en las pruebas exploratorias, realizamos el bioensayo definitivo con sus respectivas réplicas. (Figura 11).

*Tabla 7. Resultados del cuarto bioensayo exploratorio con MAYA SOLAR®.*

<b>Concentraciones</b>	<b>24 horas</b>	<b>48 horas</b>
<b>Control</b>	9	9
<b>2.3%</b>	4	7
<b>2.1%</b>	3	5
<b>1.9%</b>	4	6
<b>1.7%</b>	3	5
<b>1.5%</b>	1	3
<b>1.3%</b>	2	3
<b>1.1%</b>	1	2

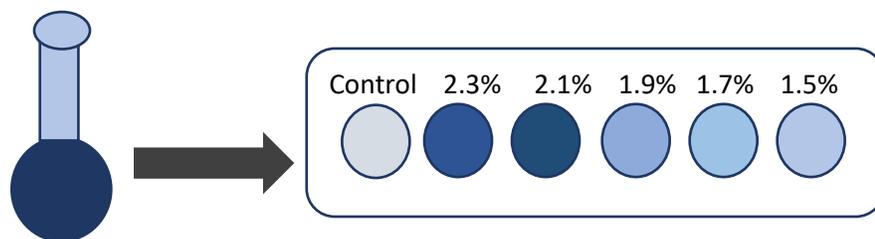


Figura 11. Diseño de la prueba preliminar de las concentraciones definitivas para el bioensayo utilizando el protector solar MAYA SOLAR<sup>®</sup>.

### 3.4.3 Prueba exploratoria utilizando BIODERMA®

Para la preparación del stock de BIODERMA® se utilizó la misma proporción utilizada con los protectores solares anteriores, 1g/L, sin embargo desde este punto se evidenció diferencias significativas a comparación de los otros dos protectores, el protector no se mezclaba de manera homogénea con el agua, se pegaba a las paredes del matraz y al imán que utilizamos para el agitador. Las concentraciones con las que se realizó el primer bioensayo preliminar fueron 1.1%, 0.9%, 0.7%, 0.5% y 0.3%. La decisión de utilizar estas concentraciones fue arbitraria.

Los resultados del primer bioensayo preliminar con las concentraciones antes mencionadas parecían ser favorables. Se realizó una cámara más con una concentración más alta para tener mejores resultados siendo 1.3% la concentración designada. Al tener estos resultados favorables realizamos un bioensayo definitivo con dichas concentraciones y los resultados obtenidos, con tres réplicas a 48 horas.

En el penúltimo ensayo exploratorio nos acercamos a la concentración letal para la mitad de los organismos, pero aún no era precisa (Tabla 8).

En la última prueba exploratoria, ampliamos las concentraciones para tener mejores resultados y además buscamos concentraciones intermedias entre cada una de las ya establecidas.

A 48 horas no habíamos logrado superar el 50% de mortalidad, los organismos parecían no ser tan susceptibles al protector solar BIODERMA®, tomamos la decisión de extender el tiempo de exposición 24 h más, por lo cual se convirtió en un bioensayo de toxicidad aguda a 72 h, los resultados fueron favorables y logramos delimitar las concentraciones a partir de la CL<sub>50</sub> para la prueba definitiva (Figura 12).

Para las pruebas preliminares y definitiva con BIODERMA® se utilizaron en total 1660 organismos de *Daphnia magna*, cuatro veces más que los usados en NIVEA SUN®, y tres veces más que los requeridos en MAYA SOLAR®.

Tabla 8. Prueba exploratoria con BIODERMA®.

Concentraciones	24 horas	48 horas
Control	10	10
12.5%	4	5
6.25%	2	4
3.125%	2	2
1.5%	1	2

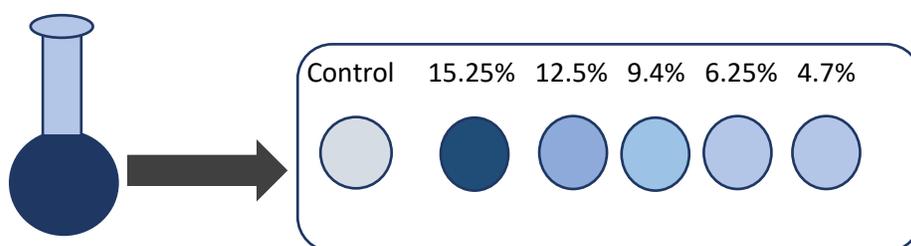


Figura 12. Diseño de la prueba preliminar de las concentraciones definitivas en la especie *Daphnia magna* utilizando como tóxico al protector solar BIODERMA®.

### 3.5 Pruebas definitivas

Se llevaron a cabo bioensayos de toxicidad aguda de tipo estático sin renovación a 48 hrs. para dos protectores solares (NIVEA SUN<sup>®</sup> Y MAYA SOLAR<sup>®</sup>) y a 72 hrs. para uno (BIODERMA<sup>®</sup>), empleándose tres réplicas para cada concentración evaluada (Figura 13).

Después de tener definidas las concentraciones para cada protector solar con sus respectivos volúmenes de muestra y de agua, estos se pusieron en agitación continua por dos horas en matraces Erlenmeyer. Posteriormente se contabilizaron 10 organismos al azar para colocarlos en cada control y concentración con sus respectivas réplicas.

Se contabilizaron los organismos en cada una de las cámaras al finalizar el período de 48 y 72 horas.

Se realizó un cuidadoso conteo individual de cada cámara y se registraron el número de organismos muertos.

Se consideran como muertos a los organismos que no presenten movilidad durante 15 segundos y que tengan una coloración pálida. A su vez se contabilizan los organismos vivos (en caso de aplicar) para corroborar que en cada réplica se cumpliera con 10 organismos y de esta manera detectar errores que puedan afectar el cálculo de la CL<sub>50</sub>.



Figura 13. Representación general del procedimiento definitivo del bioensayo.

### 3.6 Pruebas replicadas

Por cada concentración se realizaron tres réplicas y un grupo control, se seleccionaron 10 organismos al azar para cada uno y se vertieron 10mL de la concentración en cada recipiente. Se repite este procedimiento para cada tratamiento.

Los análisis se realizaron a lo largo de la misma sesión de trabajo y bajo condiciones idénticas de manejo.

El resultado de la prueba de significancia es empleado para poder evidenciar la precisión del análisis y respaldar la confianza analítica de la medición, por lo que la aceptación de los resultados estará sujeta también a que las diferencias numéricas de los análisis replicados de la muestra seleccionada sean no significativas. (Secretaría de Economía, 2011).

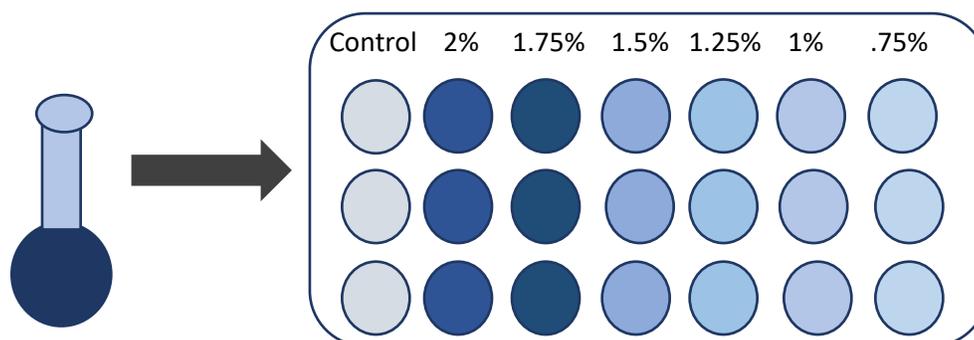


Figura 14. Prueba definitiva con réplicas para el bioensayo de toxicidad aguda con *Daphnia magna* utilizando como tóxico el protector solar NIVEA SUN®.

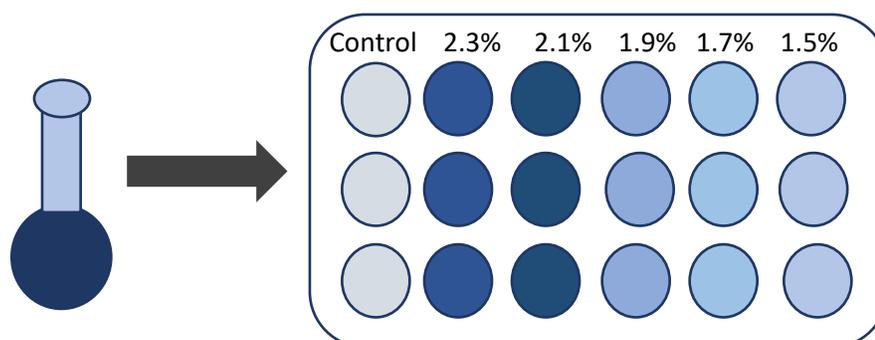


Figura 15. Prueba definitiva con réplicas para el bioensayo de toxicidad aguda con *Daphnia magna* utilizando como tóxico el protector solar MAYA SOLAR®.

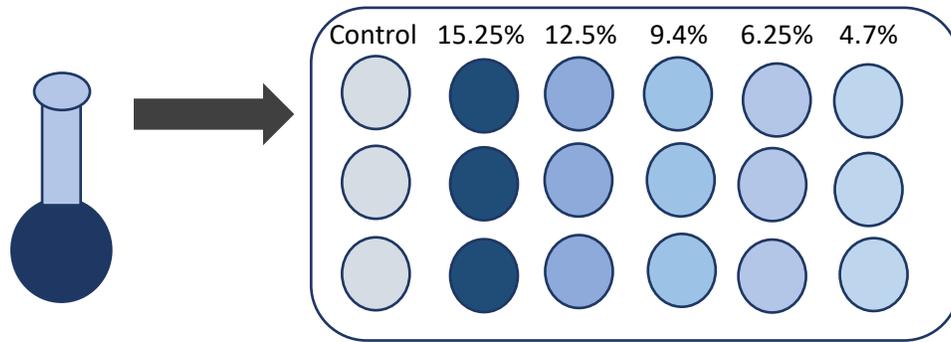


Figura 16. Prueba definitiva con réplicas para el bioensayo de toxicidad aguda con *Daphnia magna* utilizando como tóxico el protector solar BIODERMA<sup>®</sup>.

### 3.7 Cálculo de la CL<sub>50</sub>

Para la determinación de la CL<sub>50</sub>, con el límite de confianza al 95% a 48 horas, se empleó el Método Probit (Método de Unidades Probabilísticas), el cual permite evaluar la relación dosis-respuesta de un contaminante sobre un organismo (Secretaría de Economía, 2011). Los resultados se graficaron mediante curvas de regresión Probit Empírico contra Log<sub>10</sub> de la concentración con ayuda de Microsoft Office Excel 2010.

El procedimiento fue el establecido mediante el protocolo aprobado por la normatividad nacional, a través de la Norma para la Evaluación de Toxicidad Aguda con *Daphnia magna*, Straus (Crustacea – Cladóceras) – Método de Prueba (NMX-AA-087-SCFI-2010).

### 3.8 Análisis estadístico

Con el objetivo de conocer el comportamiento general de los datos, se aplicó un análisis exploratorio (estadística descriptiva) para analizar los datos obtenidos en las pruebas de toxicidad aguda. Posteriormente se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) de una vía (marca de protector solar), con el propósito de analizar las diferencias entre las tres marcas de protectores solares evaluadas, considerando como variable de respuesta la mortalidad de *Daphnia magna* a 48 h (NIVEA SUN<sup>®</sup> Y MAYA SOLAR<sup>®</sup>) y 72 h (BIODERMA<sup>®</sup>) de exposición a los protectores solares de tipo orgánico e inorgánico. Previamente para cubrir los requisitos del ANOVA paramétrico se aplicaron pruebas de homogeneidad de varianza (Levene) y de normalidad (Shapiro-Wilk's). Para este estudio, no se cumplió la prueba de homogeneidad de varianza, por lo tanto, se aplicó un ANOVA no paramétrica.

El nivel de confianza considerado para este trabajo fue del 95%. Para ello, se procedió a formular las siguientes hipótesis de trabajo:

- Hipótesis nula =  $H_0$ : No se encontró suficiente evidencia para demostrar que la mortalidad es diferente entre las marcas de protectores solares.
- Hipótesis alterna =  $H_A$ : Existe diferencia significativa de la mortalidad entre las marcas de protectores solares.

Al denotarse diferencias estadísticas se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

# CAPÍTULO IV

---

## RESULTADOS

## IV. RESULTADOS

### 4.1 Evaluación de los efectos

#### 4.1.1 Bioensayo con el protector solar NIVEA SUN®

El bioensayo de toxicidad aguda nos permitió determinar la mortalidad en cada una de las concentraciones establecidas. La  $CL_{50}$  del protector solar NIVEA SUN® para *Daphnia magna* fue de 1.26 a 48 horas de exposición (Figura 17) con un intervalo de confianza inferior y superior de 0.98 y 1.58, respectivamente. Registrándose una mortalidad del 66.67% en la concentración más alta (Tabla 9).

Tabla 9. Resultados de toxicidad del protector solar NIVEA SUN®.

Concentración (g/L)	Número de organismos expuestos	Número de respuesta	% Mortalidad por concentración
2	30	20	66.67
1.75	30	19	63.33
1.50	30	17	56.67
1.25	30	14	46.67
1	30	13	43.33
0.75	30	9	30

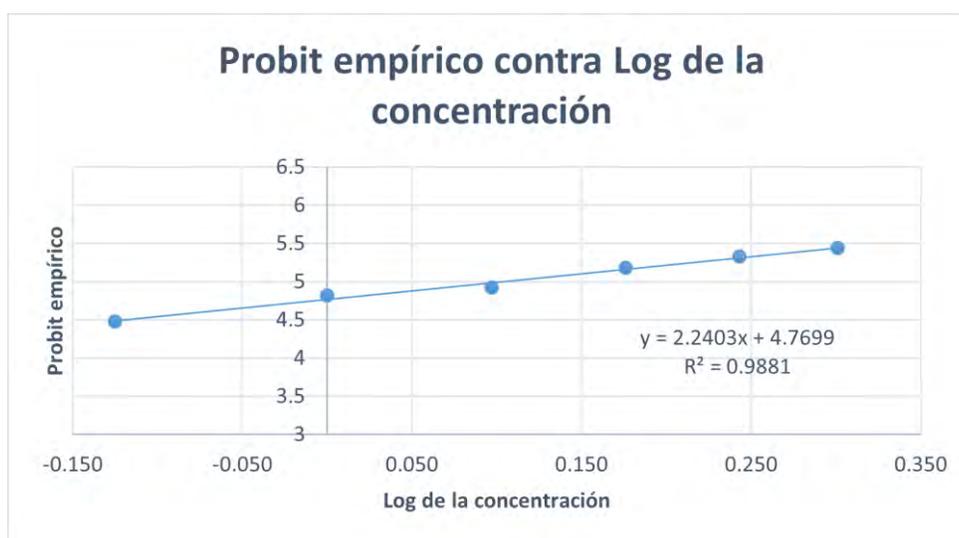


Figura 17. Probit empírico contra Log de la concentración del protector solar NIVEA SUN® y estimación de la  $CL_{50}$  a 48 h. en *Daphnia magna*.

#### 4.1.2 Bioensayo con el protector solar MAYA SOLAR®

El bioensayo de toxicidad aguda nos permitió determinar la mortalidad en cada una de las concentraciones establecidas. La  $CL_{50}$  del protector solar MAYA SOLAR® para *Daphnia magna* fue de 1.97 a 48 horas de exposición (Figura 18) con un intervalo de confianza inferior y superior de 1.78 y 2.31 respectivamente. Registrándose una mortalidad del 63.33% en la concentración más alta (Tabla 10).

Tabla 10. Resultados de toxicidad del protector solar MAYA SOLAR®

Concentración(g/L)	Número de organismos expuestos	Número de respuesta	Proporción que responde
2.3	30	19	63.33
2.1	30	17	56.67
1.9	30	14	46.67
1.7	30	10	33.33
1.5	30	9	30

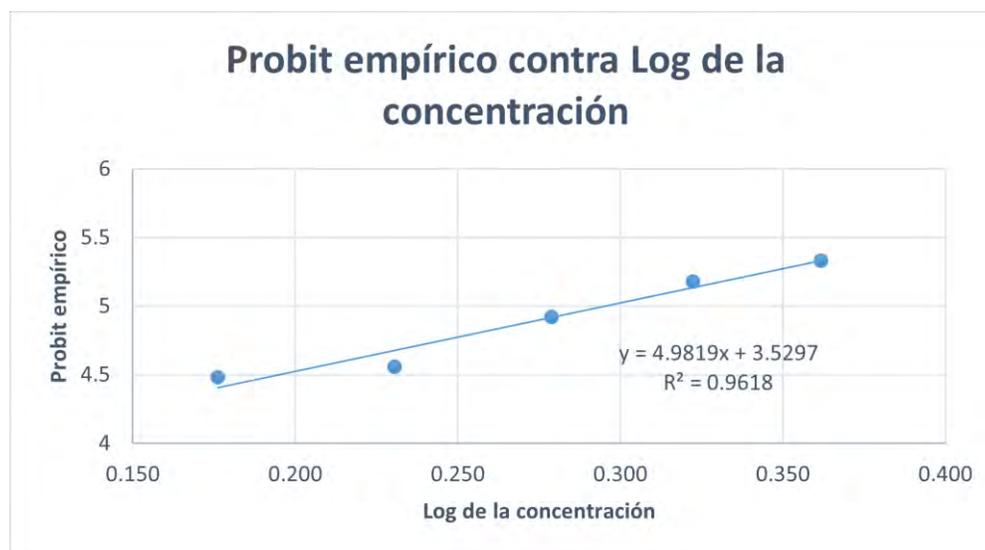


Figura 18. Probit empírico contra Log de la concentración del protector solar MAYA SOLAR® y estimación de la  $CL_{50}$  a 48 h. en *Daphnia magna*.

### 4.1.3 Bioensayo con el protector solar BIODERMA®

El bioensayo de toxicidad aguda nos permitió determinar la mortalidad en cada una de las concentraciones establecidas. La  $CL_{50}$  del protector solar BIODERMA® para *Daphnia magna* fue de 3.89 a 72 horas de exposición con un intervalo de confianza inferior y superior de 3.14 y 4.66 respectivamente. Registrándose una mortalidad del 90% en la concentración más alta (Tabla 11).

Tabla 11. Resultados de toxicidad del protector solar BIODERMA®.

Concentración (g/L)	Número de organismos expuestos	Número de respuesta	Proporción que responde
15.25	30	13	90
12.5	30	17	93.33
9.4	30	23	76.67
6.25	30	28	56.67
4.7	30	27	43.33

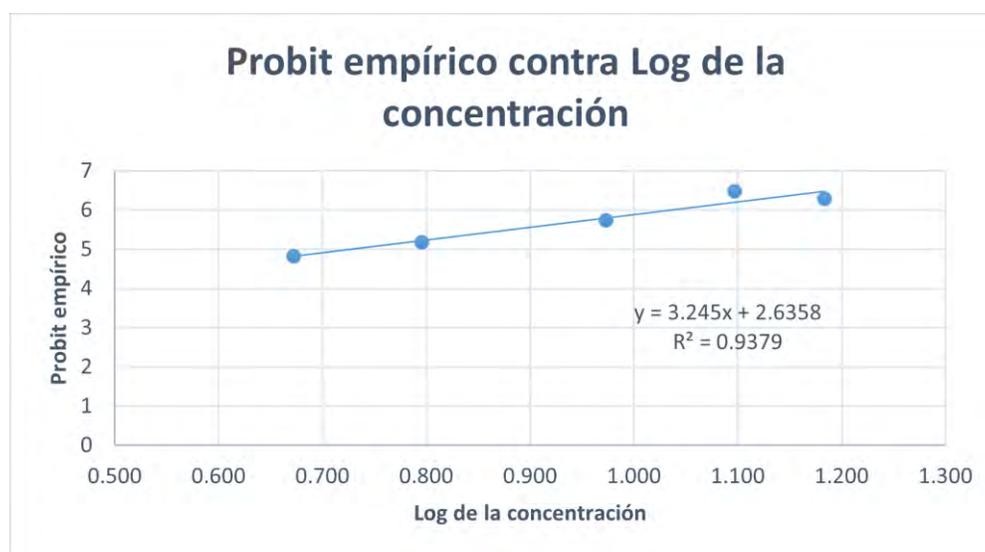


Figura 19. Probit empírico contra Log de la concentración del protector solar BIODERMA® y estimación de la  $CL_{50}$  a 48 h. en *Daphnia magna*.

## 4.2 Resultados del análisis estadístico

Se obtuvieron los siguientes resultados del análisis exploratorio de los datos de mortalidad (variable dependiente) de las tres pruebas toxicológicas:

Tabla 12. Estadística descriptiva de la variable dependiente (Mortalidad).

<b>Mortalidad</b>	
<b>Número de valores</b>	48
<b>Media</b>	5.60
<b>Mediana</b>	5.00
<b>Moda</b>	5.00
<b>Desviación estándar</b>	1.98
<b>Varianza</b>	3.90
<b>Mínimo</b>	2
<b>Máximo</b>	10
<b>Shapiro-Wilk (p)</b>	0.028

En el análisis de los datos obtenidos en la tabla 12, la variable dependiente (Mortalidad) no presenta una distribución normal con base a los resultados de la prueba de Shapiro-Wilk ( $p < 0.05$ ) Posteriormente, se presenta los resultados del análisis descriptivo de los protectores solares en forma estratificada y en cuartiles (Tabla 13).

Tabla 13. Estadística descriptiva en cuartiles.

	<b>Crema solar</b>	<b>Mortalidad</b>
<b>N</b>	NIVEA SUN®	18
	MAYA SOLAR®	15
	BIODERMA®	15

<b>Mediana</b>	NIVEA SUN®	5.00
	MAYA SOLAR®	5
	BIODERMA®	7
<b>p Shapiro-Wilk</b>	NIVEA SUN®	0.196
	MAYA SOLAR®	0.034
	BIODERMA®	0.075
<b>25° percentil</b>	NIVEA SUN®	4.00
	MAYA SOLAR®	3.00
	BIODERMA®	5.00
<b>50° percentil</b>	NIVEA SUN®	5.00
	MAYA SOLAR®	5.00
	BIODERMA®	7.00
<b>75° percentil</b>	NIVEA SUN®	6.00
	MAYA SOLAR®	6.00
	BIODERMA®	9.00

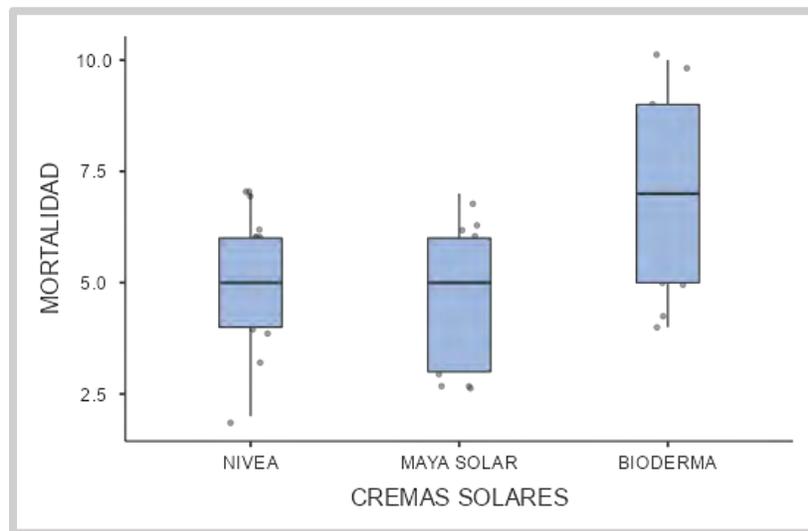


Figura 20. Distribución de la variable dependiente (mortalidad) clasificada por tipo de marcas de protectores solares.

Los resultados del ANOVA de una vía no paramétrica utilizando el Método Kruskal-Wallis ( $p < 0.05$ ) indicó que si existen diferencias significativas entre las cremas. (Tabla 14)

Tabla 14. Método Kruskal-Wallis

	$\chi^2$	Gl	P
<b>Mortalidad</b>	11.7	2	0.003

Para conocer las diferencias estadísticas significativas entre los experimentos (cremas) de la variable Mortalidad, se aplicó la prueba DSCF (Dwass-Steel-Critchlow-Fligner). (Tabla 15)

Tabla 15. Comparaciones múltiples- Mortalidad.

		W	P
<b>NIVEA SUN®</b>	<b>MAYA SOLAR®</b>	-1.52	0.532
<b>NIVEA SUN®</b>	<b>BIODERMA®</b>	3.76	<b>0.022</b>
<b>MAYA SOLAR®</b>	<b>BIODERMA®</b>	4.36	<b>0.006</b>

Para valores con  $p$  menores a 0.05, indican diferencias estadísticas significativas. Por ejemplo, NIVEA SUN® y MAYA SOLAR® fueron significativamente diferentes con BIODERMA®, pero NIVEA SUN® Y MAYA SOLAR® no mostraron diferencias significativas.

# CAPÍTULO V

---

## DISCUSIÓN

## V. DISCUSIÓN

Más de nueve millones de sustancias son liberadas al ambiente de forma cotidiana por diferentes rutas, posteriormente las sustancias se incorporan a los sistemas acuáticos. (IMTA, 2018). Gran parte de estos productos son peligrosos, por lo que se necesita evaluar los riesgos directos o indirectos a partir de su uso, almacenamiento y disposición final. La descarga de sustancias peligrosas al ambiente, intencional o no, podría causar consecuencias serias. Estas podrían ser mayores, cada vez que se generen y manejen en grandes cantidades de compuestos químicos que no existían anteriormente en la naturaleza y para los cuales no existen procesos físicos o biológicos que permitan su degradación, añadiendo el hecho de que muchas de estas sustancias son persistentes.

En esta investigación planteamos que la principal actividad económica de Quintana Roo es el turismo, lo cual provoca que el Estado sea susceptible a la contaminación acuática por productos de belleza o de higiene personal, de manera directa a través del contacto del agua con la piel impregnada de productos de higiene provenientes de los turistas que realizan actividades recreativas o de manera indirecta a través de las descargas de aguas residuales provenientes de la zona urbana y de los complejos hoteleros (Hernández, 2019).

Para evaluar los posibles efectos negativos de un químico u otro agente sobre la biota, se utilizan los ensayos de toxicidad, donde es necesario establecer una relación cuantitativa entre cantidad/dosis de exposición química y el grado de respuesta tóxica sobre un organismo u organismos de prueba.

Teniendo en cuenta que la medición de efectos en humanos expuestos a sustancias químicas requiere complejas investigaciones prospectivas o retrospectivas, así como contar con estudios epidemiológicos muy precisos, a nivel ambiental se utiliza la experimentación con diferentes organismos acuáticos, generalmente representantes de la cadena trófica.

En la actualidad se cuenta con un gran número de organismos que pueden usarse para pruebas de toxicidad o bioensayos acuáticos (Díaz-Baez, 2004).

El cladóceros *Daphnia magna* es útil y popular para realizar bioensayos de toxicidad aguda con diversas sustancias tóxicas debido a su eficacia y alta sensibilidad a los

contaminantes. Además, la *Daphnia magna* tiene un papel importante en la comunidad zooplántica y habita en una variedad de ambientes de agua dulce. (IMTA, 2018).

Hernández (2019) trabajó con el cladóceros *Macrothrix triserialis*. Dentro de su análisis destaca que el cladóceros más utilizado en pruebas de toxicidad es la *Daphnia magna*, sin embargo, actualmente han optado por trabajar con especies nativas, destacando el uso de *Ceriodaphnia cornuta*. Aunque concordamos con la importancia de trabajar con especies nativas, también resaltamos la importancia de contar con información sobre la especie que seleccionamos como organismo de prueba, al ser *Daphnia magna* una especie utilizada a nivel mundial, ya se ha recopilado la información necesaria para trabajar con ella bajo condiciones estandarizadas. Además, es importante resaltar que dentro de la normativa mexicana existe la norma para la Evaluación de Toxicidad Aguda con *Daphnia magna*, Straus ( Crustacea- Cladocera ) Método de prueba ( NMX-AA-087-SCFI-2010). Coincidimos con la idea de ampliar las metodologías o protocolos estandarizados bajo la normativa del país a más especies incluyendo las nativas. Hernández (2019) afirma que no se utilizan especies Neotropicales de la Península de Yucatán y que no existen estudios ecotoxicológicos con especies de zooplancton.

Dentro de la investigación realizada por Hernández (2019), afirma que los bloqueadores solares no biodegradables tuvieron un riesgo de toxicidad mayor que los biodegradables en las especies de organismos indicadoras utilizadas. La clasificación correcta de los protectores solares es de acuerdo con sus ingredientes activos, se dividen en dos grupos: orgánicos e inorgánicos. El nombramiento que realiza Hernández (2019) en su investigación, es una etiqueta comercial no válida ya que no podemos afirmar que es o no biodegradable sin los estudios pertinentes.

Los filtros ultravioletas (UV) son compuestos utilizados en muchos procesos de fabricación y productos de cuidado personal, como el protector solar para proteger contra la radiación UV. Estos compuestos altamente lipofílicos son contaminantes emergentes de preocupación en los ambientes acuáticos. Actualmente, la investigación sobre los efectos tóxicos de la contaminación por filtros UV de los ecosistemas de agua dulce es deficiente (Boyd *et al.*, 2021), debido a esto se evaluó la toxicidad de tres marcas de protectores

solares, clasificados de acuerdo con los filtros UV; orgánicos (NIVEA SUN<sup>®</sup>) e inorgánicos (MAYA SOLAR<sup>®</sup> Y BIODERMA<sup>®</sup>) en *Daphnia magna*.

La evaluación de la toxicidad de las tres marcas de protectores solares (NIVEA SUN<sup>®</sup>, MAYA SOLAR<sup>®</sup> Y BIODERMA<sup>®</sup>) en *Daphnia magna*, ha generado información de gran interés, mostrando tres valores diferentes de CL<sub>50</sub>, presentando el siguiente orden de toxicidad (de mayor a menos grado): NIVEA SUN<sup>®</sup> (1.27), MAYA SOLAR<sup>®</sup> (1.97) y BIODERMA<sup>®</sup> (3.89).

La respuesta de toxicidad de los tres protectores solares en términos de CL<sub>50</sub> a 48 hrs. de exposición en *Daphnia magna*, presentó una variación de 1.26 a 3.89 g/L

Analizando particularmente el protector solar orgánico, con los resultados por Hernández (2019), quién reportó dos resultados en cladóceros, ambos para protectores solares orgánicos, con un valor de CL<sub>50</sub> de 0.77 y 1.85 g/L y observamos que el valor de la CL<sub>50</sub> de 1.27 g/L NIVEA SUN<sup>®</sup> no es igual y se encuentra en el intermedio de ambos valores. Para realizar una comparación más efectiva necesitaríamos los datos de los protectores solares usados en la investigación de Hernández (2019), destacando que las formulaciones de estos productos cambian constantemente.

Otros resultados de investigaciones realizadas por deDanovaro *et al.*, (2008), Sieratowicz *et al.*, (2011), Brausch y Rand., (2011) y Clement *et al.*, (2013) plasmados en Hernández, (2019) nos muestran otros resultados para filtros orgánicos analizados en cladóceros específicamente Benzofenona-3, el resultado de la CL<sub>50</sub> es de 1.9 g/L, para Benzofeona-4 es de 50 g/L, 4-metilbencilideno alcanfor es de 0.56 g/L y para el Etil exil metoxicinamato es de 0.29 g/L, sin embargo ninguno de estos filtros es parte de la formulación del protector solar orgánico, NIVEA SUN<sup>®</sup>.

El valor de la CL<sub>50</sub> para los filtros inorgánicos analizados en cladóceros es de 0.18 g/L para el Óxido de zinc y 5.5 g/L para el Dióxido de titanio, nuestros resultados fueron de 1.97g/L para MAYA SOLAR<sup>®</sup> y 3.89 g/L para BIODERMA<sup>®</sup>, ambos contienen los dos filtros dentro de sus formulaciones, por lo que la comparación de resultados no es sencilla,

puesto que los evaluamos como una mezcla, no como una sustancia sola. Debemos tomar en cuenta que hay compuestos que de manera aislada o en conjunto puede alterar su toxicidad.

Los resultados de la  $CL_{50}$  muestran que de los tres protectores solares BIODERMA<sup>®</sup> fue el menos tóxico con un valor de 3.89. Esta crema es un protector solar orgánico, igual que MAYA SOLAR<sup>®</sup>, que tuvo un valor de 1.93, podemos observar que el valor de BIODERMA<sup>®</sup> es el doble que el de MAYA SOLAR<sup>®</sup>, a pesar de que ambos tienen los mismos ingredientes activos, el óxido de zinc y el dióxido de titanio. Una posible causa son los compuestos hidrofóbicos de BIODERMA<sup>®</sup>. Dentro de la formulación de BIODERMA<sup>®</sup> encontramos más ingredientes insolubles como el Isodecano y el Isoestereato de isoestearilo. En comparación con la formulación de MAYA SOLAR<sup>®</sup>, que únicamente contiene el óxido de zinc como sustancia hidrofóbica.

Muchos estudios sugieren la importancia de desarrollar estudios no de manera individual por filtro, sino en conjunto, en coctel químico para dimensionar su toxicidad en las mezclas complejas, ya que los filtros UV tanto orgánicos como inorgánicos por sí solos pudieran ser más tóxicos que en conjunto.

Boyd *et al.* (2021) trató de modelar los efectos de la exposición aguda y crónica al desarrollo de los filtros UV avobenzona, oxibenzona y palapalcrileno, así como una mezcla de estas sustancias en el invertebrado de agua dulce, *Daphnia magna*, a concentraciones ambientalmente realistas. Resaltando la importancia de realizar estudios crónicos de estas sustancias tóxicas presentes en los protectores solares.

Cualquier alteración que conduzca a una muerte prematura, ya sea por perturbación del comportamiento o por otros medios son el más tóxico de todos los resultados.

Durante los bioensayos observamos cambios en el comportamiento de los organismos y en sus características físicas, su nado se volvía más lento, su coloración se volvió opaca, la toxicidad para los organismos de pruebas fue evidente y es posible que se produzcan grandes descensos en su número en condiciones ambientales reales que pueden provocar cascadas tróficas de especies depredadoras y presas de *Daphnia magna* perturbando a todo un ecosistema.

Algunos filtros ultravioletas (UV) no son completamente “biodegradables” y por el contrario, son persistentes. Las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) muchas veces no son capaces de filtrarlos correctamente. Como consecuencia, hay una dispersión ambiental de dichas sustancias y se han detectado distintos filtros UV en el suelo, las aguas continentales, los océanos y en múltiples organismos como los corales, algas, mamíferos, peces, crustáceos e incluso aves terrestres).

Algunos filtros UV, especialmente la benzofenona3 y el octocrileno (presente en NIVEA SUN®) se han mostrado tóxicos en estos organismos. Entre sus efectos tóxicos destacamos el blanqueamiento de los corales y problemas metabólicos, enzimáticos y de capacidad reproductiva en prácticamente cualquier organismo. Existen datos preliminares sobre la posible bioacumulación de estos filtros UV en humanos, al detectarse en muestras de orina y leche materna. Sin embargo, el estudio del impacto medioambiental de los filtros UV presenta muchas limitaciones (Couselo-Rodríguez, 2022).

# CAPÍTULO VI

---

## CONCLUSIONES

## VI. CONCLUSIONES

El ser humano ha trabajado en desarrollar productos que mejoren su calidad de vida y su salud, sin embargo, debemos analizar si el uso de productos de cuidado personal está contribuyendo a la contaminación del medio, en qué manera y en que magnitud.

La importancia de realizar bioensayos de toxicidad y obtener parámetros como la CL<sub>50</sub> tienen su primicia en este cuestionamiento.

Es optimista y absurdo creer que las sustancias que introducimos en los ecosistemas no tendrán efectos negativos en ellos. Los cambios pueden suceder en diferentes niveles afectando a un organismo o a toda una comunidad.

Los protectores solares son un producto esencial de uso diario, que han surgido como respuesta a la impetuosa necesidad de proteger nuestra piel de los rayos solares, que podrían generar problemas de salud graves, como el cáncer.

Esta investigación surge como respuesta a la escasa y dispersa información acerca de los efectos de los protectores solares en el medio, a lo difícil que es realizar una comparación entre marcas, tipos e incluso los ingredientes activos de estos.

El organismo de prueba seleccionado para esta investigación pertenece a los organismos del zooplancton, familia de los cladóceros y es un organismo popular para realizar bioensayos debido a su gran sensibilidad, la *Daphnia magna*. La norma mexicana NMX-AA-087-2010-SCFI postula a *D. magna* como organismo de prueba para el análisis biológico de la calidad del agua, además es considerada un buen bioindicador ambiental.

- Los bioensayos de toxicidad aguda demostraron que *Daphnia magna* fue sensible a los ingredientes activos del protector solar orgánico NIVEA SUN® y del inorgánico MAYA SOLAR® expuestos en un periodo de 48 horas.
- El bioensayo de toxicidad aguda demostró que *Daphnia magna* fue sensible a los ingredientes activos del protector solar inorgánico de la marca BIODERMA® expuestos en un periodo de 72 horas.

- Esta especie puede ser utilizada para evaluar los riesgos ambientales por protectores solares y como indicador de la calidad del agua de los recursos hídricos dulces del Estado de Quintana Roo.
- El bioensayo de toxicidad aguda a 48 horas con el protector solar NIVEA SUN<sup>®</sup> sobre *Daphnia magna* registró una CL<sub>50</sub> de 1.26g/L con un intervalo de confianza al 95%.
- El bioensayo de toxicidad aguda a 48 horas con el protector solar MAYA SOLAR<sup>®</sup> sobre *Daphnia magna* registró una CL<sub>50</sub> de 1.97g/L con un intervalo de confianza al 95%.
- El bioensayo de toxicidad aguda a 72 horas con el protector solar BIODERMA<sup>®</sup> sobre *Daphnia magna* registró una CL<sub>50</sub> de 3.89g/L con un intervalo de confianza al 95%.
- El protector solar que resultó ser más tóxico para *Daphnia magna* fue el que contiene ingredientes activos orgánicos, el NIVEA SUN<sup>®</sup> (CL<sub>50</sub>:1.26 g/L) seguido del MAYA SOLAR<sup>®</sup> (CL<sub>50</sub>: 1.97g/L) Y BIODERMA<sup>®</sup> (CL<sub>50</sub>: 3.89g/L) éstos dos últimos con ingredientes activo inorgánicos.
- Comparando el valor de la CL<sub>50</sub> de MAYA SOLAR<sup>®</sup> y BIODERMA<sup>®</sup> podemos observar que a pesar de pertenecer al mismo grupo de acuerdo a sus ingredientes activos, inorgánico, el valor de la CL<sub>50</sub> de BIODERMA<sup>®</sup> (3.89g/L) es casi el doble que el de MAYA SOLAR<sup>®</sup> (1.97g/L) destacando que aún perteneciendo al mismo grupo, su nivel de toxicidad puede variar considerablemente.
- El comportamiento de la mortalidad de *Daphnia magna* en las tres marcas de protectores solares mostraron diferencias significativas al aplicar el análisis estadístico ANOVA, es decir los protectores solares orgánicos e inorgánicos representan un peligro para la vida acuática presente en los cuerpos de agua dulce, ya que si son introducidos en éstos existe la probabilidad de que causen cambios abruptos y negativos en los organismos.
- Resaltamos la necesidad de ampliar y tener esta información disponible para cada producto que salga al mercado, y puntualizar que la región es susceptible de recibir mayores cantidades de protectores solares por la índole de su principal actividad

económica, debemos perpetuar el uso consciente e informado de productos para no contribuir a la contaminación del ambiente.

- Existe una necesidad urgente de información sobre la bioacumulación y los efectos de los protectores solares en esta región, para que las instituciones de gobierno o de investigación encargados de desarrollar y vigilar las políticas ambientales puedan incluir en sus programas el monitoreo de estos contaminantes emergentes. Estas medidas son necesarias para tener un turismo sostenible en Quintana Roo.

# CAPÍTULO VII

---

## RECOMENDACIONES

## VII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda ampliamente las especies del género *Daphnia* en bioensayos de ecotoxicidad por su amplia distribución geográfica, su importancia zooplanctónica, fácil cultivo en laboratorio, rápida reproducción y corto ciclo de vida. En particular *Daphnia magna* permite determinar la potencial letalidad de sustancias como aguas residuales domésticas e industriales, aguas superficiales o subterráneas, lixiviados, sustancias puras, etc.
- Promover estudios con bioensayos crónicos para conocer los efectos de los protectores solares sobre la flora y la fauna de los cuerpos de agua continentales de la región.
- Realizar bioensayos con otros organismos de pruebas con importancia ecológica y zooplanctónica para la región, con la finalidad de generar más información ecotoxicológica de los mismos tóxicos evaluados.
- Evaluar la toxicidad de otras sustancias de cuidado personal que se utilizan y se descargan en grandes cantidades en la zona geográfica, para brindar información de su impacto sobre los ecosistemas de la región.
- Fomentar e incitar a los responsables de todas las marcas de protectores solares y otros productos de cuidado personal a realizar los estudios ambientales correspondientes antes de lanzar un producto al mercado.
- Proponer medidas que limiten el acceso de productos, en envase o impregnados en la piel, que puedan ser incorporados y causar un daño irreversible a los cuerpos acuáticos.
- Detectar las descargas más contaminantes con apoyo de herramientas biológicas, para generar información técnica suficiente para establecer valores de límites permisibles y poder plantear las medidas prevención y de saneamiento adecuadas, esto permitirá controlar y reducir la contaminación para conservar la calidad del agua y proteger la vida acuática de los cuerpos receptores.
- Se propone ampliar los estudios e investigaciones en la zona respecto al impacto que el turismo directa o indirectamente puede generar en los cuerpos de agua de la región.

# CAPÍTULO VIII

---

REFERENCIAS  
BIBLIOGRÁFICAS

## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agawin, N., Sunyer, A., Díaz-Cruz, M., Frank-Comas, A., García-Márquez, M. & Tovar-Sánchez, A. (2022). Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* accumulates sunscreen uv filters. Elsevier. Marine pollution bulletin 176. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113417>
- Amé, M.; Anguiano, O., Cazenave, J., Demetrio, P., Eissa, B. *et al.*, (2021) Principios de ecotoxicología; Universidad Nacional de la Plata. Facultad de Ciencias exactas.
- Angulo, L. (2013). Determinación de la toxicidad total del efluente de la planta de tratamiento primer centenario en la región lagunar norponiente de Chetumal Quintana Roo, mediante *Oreochromis niloticus*. Tesis de licenciatura. Universidad de Quintana Roo, Chetumal Quintana Roo, México.
- Argemi, F., Cianni, N., & Andrés Porta (2005). Disrupción endócrina: Perspectivas ambientales y salud pública. Acta bioquímica clínica latinoamericana, 39(3), 291-300. Recuperado de [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=s0325-29572005000300004&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s0325-29572005000300004&lng=es&tlng=es).
- Baird C., & Cann, M. (2012) Química ambiental. Reverté. Recuperado de <https://books.google.com.mx/books?id=59zeDwAAQBAJ&lpg=PA11&dq=protectores%20solares&hl=es&pg=PR1#v=onepage&q=protectores%20solares&f=false>
- Balmer, M. E., Buser H. R., Muller M. D., y Piger T., (2004). Occurrence of the organics uv-filter compounds BP-3, 4-MBC, EHMC, and OC in wastewater, surface waters, and in fish from swiss lakes. Environ. SCI. Technol.

- Boyd, A., Stewart, C. Philibert D., Tong Z., El-Din M., Tierney, K., Blewett, T. (2021). A burning issue: the effect of organic ultraviolet filter exposure on the behaviour and physiology of *Daphnia magna*. Elsevier. Science of the Total Environment 750.
- Beddows, P., Blanchon, P., Escobar, E., y Torres, O., (2007). Los cenotes de la Península de Yucatán. Arqueología Mexicana, 14(83), pp.32-35
- Belmonte, O., Hernández, T., Vester, M., & Legorreta, Á. (2004). Flujo de materia en un manglar de la costa de Chiapas, México. Instituto de Ecología A.C, 2 (N.D.)
- Castillo, G., (2004). Ensayos toxicológicos y métodos de evaluación de calidad de aguas estandarización, intercalibración, resultados y aplicaciones. IMTA.
- Cervantes, R., Mancilla, G., González, P., Sandoval C. & Torres F. (2019). Bioensayos in vitro de relevancia en las ciencias biológicas y agropecuarias. BIOAGROCIENCIAS. DOI: <http://dx.doi.org/10.56369/BAC.2968>
- Corinaldesi C., Marcellini F. , Nepote, E., Damiani, E., Danovaro R. (2018). Impact of inorganic UV filters contained in sunscreen products on tropical stony corals (*Acropora spp.*) Science of the Total Environment, Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.108>
- Couselo-Rodríguez R., González-Esteban P., Diéguez Montes M. y Flórez Á. (2022). Impacto de los filtros ultravioleta en el entorno natural. Actas Dermo-Sifiliográficas 113. 792-803.
- Crites R. & Tchobanoglous G. (2000). Sistemas de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados. Bogotá, Colombia. McGraw-Hill Interamericana, S.A.

Devezé, P., Reta, J., Sanchez, B., (2004). Cultivo de *Poecilia reticulata* (Pisces:Poeciliidae) en cuerpos de agua tropicales, Veracruz, México. Revista de Biología Tropical. Volumen 52. [https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-77442004000400017](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442004000400017)

Díaz-Báez, M., Bustos, M., Espinosa, A., (2004). Pruebas de toxicidad acuática: Fundamentos y métodos. Universidad Nacional de Colombia

Dodson S. & T. Hanazato. (1995). Commentary on effects of anthropogenic and natural organic chemicals on development, swimming behavior, and reproduction of *Daphnia*, a key member of aquatic ecosystems. Environ Health Perspect. 103 (suppl 4):7- 11

Gil, M., Soto A., Usma J., Gutiérrez, O. (2012). Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos. Revista producción + limpia. Volumen 7 <http://179.1.108.245/index.php/pl/article/view/265/126>

Góngora-Landeros, E., Uría-Galicia, E., Martínez-Jerónimo, F., & López Villegas, E. (2010). Descripción Histológica de la Cámara Incubatriz de *Moina hutchinsoni* (Brem, 1937). International Journal of Morphology, 28(4), 1025-1030.

Hernández, M., (2019). Evaluación de la toxicidad de protectores solares en zooplancton (rotífera, ostrácoda y cládocera) y peces (poecilidos) de Quintana roo. Tesis para obtener el grado de maestro en ciencias del agua. Centro de investigación científica de Yucatán.

Ibe, E. K., Un-jung, K., Sung-hee, O., Hee-young, K., Jeong-eun, O., (2015). Distribution and seasonal occurrence of uv filters in rivers and wastewater treatment plants in Korea, pp. 121-128

IMTA, (2018). El IMTA realiza investigación de ecotoxicología utilizando *Daphnia m.*

- Larrain, A. (1995). Criterios ecotoxicológicos para evaluar alteraciones ambientales y establecer parámetros de control: importancia de los bioensayos de toxicidad. *Cienc. Tec. Mar, Cona* ( n° especial):39-47
- León, R. (2015). Determinación de los hábitos alimenticios de tres especies de Poecilidos (Cyprinodontiformes:Poeciliidae) del Parque Centenario Laguna de Chapulco Puebla, México. Tesis de Licenciatura, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Repositorio institucional de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. <https://repositorioinstitucional.buap.mx/handle/20.500.12371/8802>
- McNeill, J. Population and the natural environment: trends and challenges. *Population and development* 32: 183-201. 2006
- Moreno- Grau, M (2003). Toxicología ambiental. Evaluación de riesgo para la salud humana. Madrid: McGraw-Hill.
- Moreno, M., (2010). Fotoprotección. *Rev Asoc. Colomb. Dermatol.* Recuperado de <https://revistasocolderma.org/sites/default/files/fotoproteccion.pdf>
- Naranjo, E., Dirzo R., López, J., Rendoón-Von, O. & Sosa-Nishizaki, O., (2009). Impacto de los factores antropogénicos de afectación directa a las poblaciones silvestres de flora y fauna en capital natural de México. Estado de conservación y tendencias de cambio. CONABIO.
- Palafox, B. & Callejas, M. (2022). La delicada y frágil belleza del sur de Quintana Roo. Suplemento Campus. <https://suplementocampus.com/la-delicada-y-fragil-belleza-del-sur-de-quintana-roo/>
- Peluso, M. (2021). Principios de Ecotoxicología. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP). Recuperado de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/131173>

- Pynnonen, K. 1995. Effect of pH, hardness and maternal pre-exposure on the toxicity of Cd, Cu and Zn to the glochidial larvae of a freshwater clam *Anodonta cygnea*. *Water Res.* 29:247-254.
- Ramírez Romero, P. & Mendoza Cantú, A. (2008). Ensayos toxicológicos para la evaluación de sustancias químicas en agua y suelo, la experiencia en México. SEMARNAT.
- Rautenberg, G. E., Amé, M., Monferrán, M., Bonansea, R., Hued, A. (2015). A multi-level approach using *gambusia affinis* as a bioindicator of environmental pollution in the middle-lower basin of suquia river, ecological indicators. Elsevier.
- Rodríguez-Romero, A., Ruiz-Gutiérrez, G., Viguri, J. R., & Tovar-Sánchez, A. (2019). Sunscreens as a New Source of Metals and Nutrients to Coastal Waters. *Environmental Science and Technology*, 53(17), 10177–10187. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b02739>
- Roman, F. (2001). Estudio integrado de la contaminación acuática mediante bioensayos y parámetros fisiológicos y bioquímicos indicadores de estrés ambiental. Tesis doctoral, Universidad de Buenos Aires: Facultad de Ciencias Exactas Naturales.
- Sánchez Sarmiento, L. J., & Andrade Ayala, A. P. (2009). Determinación de la concentración letal media (CL50-96) del cianuro, por medio de bioensayos sobre alevinos de Trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*). Recuperado de [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_ambiental\\_sanitaria/585](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/585)
- Sánchez, J., Álvarez, T., Pacheco, J., Carrillo, I., & González, R., (2016). Calidad del agua subterránea: acuífero sur de Quintana Roo, México. *Tecnología y ciencias del agua*. pp 75-96

- Santa Olalla, F. (2005). Agua y agronomía. Editorial Mundi-Prensa. Recuperado de <https://books.google.com.mx/books?id=tWkJAQAAQBAJ>
- Secretaria de Economía. (2011). Análisis de agua - Evaluación de toxicidad aguda con *Daphnia magna*, Straus (Crustacea - Cladocera) – Método de prueba. (NMX-AA-087-SCFI-2010) <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166797/NMX-AA-087-SCFI-2010.pdf>
- SERNAC. (2020). Análisis de rotulación y aspectos técnicos analíticos de protectores solares: la realidad de la protección solar. Recuperado de [https://www.sernac.cl/portal/619/articles-58146\\_archivo\\_01.pdf](https://www.sernac.cl/portal/619/articles-58146_archivo_01.pdf)
- Silva, J., Fuentealba, C., Bay-Schmith, E. y Larrain, A. (2007). Estandarización del bioensayo de toxicidad aguda con *Diplodon chilensis* usando un tóxico de referencia. *Gayana* 71(2): 135-141
- Silva, J., Torrejón, G., Bay-Schmith, E., & Larrain, A. (2003). Calibración del bioensayo de toxicidad aguda con *Daphnia pulex* (crustacea: cladocera) usando un toxico de referencia. *Gayana* 67(1): 87-96.
- Tovar-Sánchez, A., Sparaventi, E., Gaudron, A., Rodríguez-Romero, A., (2020). A new approach for the determination of sunscreen levels in seawater by ultraviolet absorption spectrophometry. *Plos One* 15 (12): e0243591
- Velázquez-Salazar S., Rodríguez-Zúñiga M.T., Alcántara-Maya J.A., Villeda-Chávez E., Valderrama- WAT Landeros L., Troche-Souza C., Vázquez-Balderas B., Pérez-Espinosa I., Cruz-López M. I., Ressler R., De la Borbolla D. V. G., Paz O., Aguilar-Sierra V., Hruby F. y Muñoa-Coutiño J. H. (2021). Manglares de México. Actualización y análisis de los datos 2020. CONABO, México CDMX.

Vuckovic, D., Tinoco, A., Ling, L., Pringle, J. y Mitch, W. (2022). Conversion of oxybenzone sunscreen to phototoxic glucoside conjugates by sea anemones and corals. science. doi: 10.1126/science.abn2600

Witters, H. (1998). Chemical speciation dynamics and toxicity assessment in aquatic systems. Ecotoxicol. Environ. Saf. 4:90-95.

# CAPÍTULO IX

---

## ANEXOS

**Anexo 1. Materiales para realizar prueba de toxicidad aguda de protectores solares usando *Daphnia magna*.**

<b>MATERIAL</b>	<b>UNIDADES</b>
<b>Matraz Erlenmeyer 250 ml</b>	3
<b>Vaso de precipitado 1000 ml</b>	1
<b>Pipetas de plástico de 3ml</b>	8
<b>Cajas Petri</b>	10
<b>Peceras de 27x17x10 aprox</b>	5
<b>Estereoscopio</b>	1
<b>Lámpara</b>	1
<b>Agitador magnético</b>	3
<b>Barra magnética</b>	3
<b>Matraz aforado 100 ml</b>	16
<b>Báscula analítica</b>	1
<b>Charola de plástico para bascula</b>	3
<b>Espátula</b>	3
<b>Micropipeta 200 microlitros</b>	1
<b>Puntillas de micropipeta</b>	16
<b>Red de 2mm</b>	1
<b>Pipetas de 10 ml</b>	6
<b>Succionador de pipetas</b>	1
<b>Probeta graduada 50 ml</b>	1
<b>Probeta graduada 100 ml</b>	1
<b>Microscopio</b>	1
<b>Portaobjetos</b>	2
<b>Cubreobjetos</b>	2

## Anexo 2. Bioensayos preliminares



Figura 21. Bioensayo preliminar del protector solar MAYA SOLAR® con *Daphnia magna*.



Figura 22. Bioensayo preliminar del protector solar NIVEA SUN<sup>®</sup> con *Daphnia magna*.



Figura 23. Bioensayo preliminar del protector solar BIODERMA<sup>®</sup> con *Daphnia magna*.

### Anexo 3. Cuantificación de organismos



Figura 24. Cuantificación e identificación de *Daphnia magna*.

**Anexo 4. Organismo utilizado en los bioensayos.**



Figura 25. Especie de prueba.

**REINO: ANIMALIA**

**FILO: ARTHROPODA**

**SUBFILO: CRUSTACEA**

**CLASE: BRANCHIOPODA**

**ORDEN: CLADÓCERA**

**FAMILIA: DAPHNIIDAE**

**GÉNERO: DAPHNIA**

**ESPECIE: *DAPHNIA MAGNA***