



**UNIVERSIDAD LAICA “ELOY ALFARO” DE
MANABÍ**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA Y
TECNOLOGÍAS**

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TEMA

“EVALUACIÓN DEL RIESGO AMBIENTAL DEL FÁRMACO PREDNISONA
UTILIZANDO LA MICROALGA *Scenedesmus sp* EL CAMARÓN BLANCO
Litopenaeus vannamei COMO BIOINDICADORES”

Modalidad de titulación: Artículo Académico

Autores

Kevin Alexis Barrezueta Choéz

Darline Nicole Bermúdez Solari

Tutor(A)

Dra. Dayanara Macías Mayorga PhD

MANTA-MANABÍ-ECUADOR

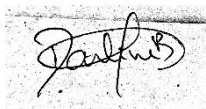
2025-2

Índice General

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	i
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
DEDICATORIA	v
DEDICATORIA	vi
Resumen	vii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. METODOLOGÍA	3
2.1 Bioensayo con la microalga <i>Scenedesmus sp</i>	3
2.2 Bioensayos de exposición a prednisona con la especie <i>Litopenaeus vannamei</i>	4
2.2.1 Aclimatación de los organismos	4
2.2.2 Bioensayo de exposición forzada con el camarón blanco <i>L. vannamei</i> para determinación de la CL50.....	4
2.2.3 Bioensayo de exposición no forzada con el camarón blanco <i>L. vannamei</i>	5
2.3 Procesamiento de datos.....	6
2.3.1 Análisis estadístico	6
2.3.2 Cálculo de la CL50	6
2.3.3 Cálculo de fuga/evasión	6
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	7
3.1 Bioensayo de toxicidad con la especie <i>Scenedesmus sp</i>	7
3.2 Bioensayo de exposición forzada con el camarón blanco <i>Litopenaeus vannamei</i> , determinación de la concentración letal media (CL50).	8
3.3 Bioensayo de exposición no forzada con el camarón blanco <i>L. vannamei</i>	9
4. CONCLUSIONES.....	10
5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	11

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, **Darline Nicole Bermúdez Solari** y **Kevin Alexis Barrezueta Choéz** declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.



Darline Nicole Bermúdez Solari



Kevin Alexis Barrezueta Choéz

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

	NOMBRE DEL DOCUMENTO: CERTIFICADO DE TUTOR(A).	CÓDIGO: PAT-04-F-004
	PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE GRADO BAJO LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	REVISIÓN: 1 Página 1 de 1

CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor(a) de la Facultad de Ciencias de la Vida y Tecnologías de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular bajo la autoría de los estudiantes **Darline Nikole Bermúdez Solari y Kevin Alexis Barrezuela Choez**, legalmente matriculados en la carrera de Ingeniería ambiental, período académico 2025-2, cumpliendo el total de **384 horas**, cuyo tema del proyecto o núcleo problémico es **"Evaluación del riesgo ambiental del fármaco prednisona utilizando la microalga *Scenedesmus sp* y el camarón blanco *Litopenaeus vannamei* como bioindicadores"**

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad de este, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario,

Manta, 23 de enero de 2026

Lo certifico,



Dra. Dayanara Macías Mayorga PhD
Docente Tutor(a)
Área: Toxicología ambiental y Ecotoxicología

Nota 1: Este documento debe ser realizado únicamente por el/la docente tutor/a y será aceptado sin enmendaduras y con firma física original.

Nota 2: Este es un formato que se llenará por cada estudiante (de forma individual) y será otorgado cuando el informe de similitud sea favorable y además las fases de la Unidad de Integración Curricular estén aprobadas.

AGRADECIMIENTO

Expreso mi más profundo y sincero agradecimiento a la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, por haberme permitido formarme en sus aulas y por brindarme las herramientas necesarias para mi crecimiento profesional. De manera muy especial, deseo reconocer la invaluable labor de la Dra. Dayanara Macías Mayorga, PhD, cuya guía académica, paciencia y visión crítica fueron fundamentales para orientar cada etapa de esta investigación; su compromiso con la excelencia ha sido una fuente de inspiración constante.

Asimismo, extendiendo mi gratitud a la empresa Laboratorios de Larvas 'Lardema S.A.', por su apertura y valiosa contribución al donar las larvas PL20 utilizadas en este estudio; su apoyo técnico no solo facilitó el desarrollo experimental, sino que fortaleció el rigor de los resultados obtenidos.

Finalmente, este logro no tendría el mismo significado sin el pilar fundamental de mi vida: mis padres y mi hermano. A ellos agradezco su sacrificio, su amor incondicional y su fe inquebrantable en mis capacidades, pues su respaldo emocional fue el motor que me permitió superar los desafíos y culminar con éxito esta importante meta.

Atentamente,

Kevin Alexis Barrezueta Choéz.

AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a Dios, por guiar mis pasos, darme la fortaleza necesaria y permitirme culminar esta importante etapa de mi formación profesional en Ingeniería Ambiental.

A mi familia, por su apoyo incondicional, su paciencia y su presencia constante a lo largo de todo este proceso académico.

A mi madre, Yolanda Solari, por su amor, comprensión y sacrificio, que han sido un soporte fundamental durante mi vida universitaria.

A mi hermana Kandy Granda, por estar siempre para mí sin dudarlo, por su apoyo incondicional y por ser mi mayor respaldo emocional y personal en cada etapa de este camino.

A José Luis Fernández, por su apoyo constante, su ejemplo y por ser un pilar importante dentro de mi vida y mi familia.

A mis sobrinos, por ser una inspiración diaria y recordarme que todo esfuerzo tiene un propósito.

A mis amigos, quienes han estado presentes en mi vida, brindándome apoyo, ánimo y compañía, demostrando que el respaldo sincero se refleja en los momentos importantes.

Finalmente, agradezco a todas las personas que, de manera directa o indirecta, contribuyeron a la culminación de este trabajo de titulación.

ATTE

Darline Nicole Bermúdez Solari

DEDICATORIA

A Dios, el ser supremo y arquitecto de mi destino, por ser la fuente inagotable de mi fortaleza y el guía silencioso de mis pasos. Te agradezco profundamente por haberme concedido el hálito de vida y la claridad mental necesarios para transitar este camino; gracias por moldear mi personalidad a través de la fe y por permitir que, bajo tu bendición, esta meta que hoy alcanzo sea solo el inicio de un propósito mayor en tu nombre.

A mis padres, con todo el amor y respeto que su entrega merece. Les dedico este triunfo por haber sido mi soporte incondicional, tanto en lo emocional como en lo económico. Gracias por cada sacrificio silencioso, por el esfuerzo incansable que realizaron para que yo pudiera alcanzar mis objetivos y por creer en mi potencial cuando el camino se tornaba difícil. Este título es un testimonio de su abnegación y un pequeño tributo al legado de valores que han sembrado en mí.

A mi hermano, por su compañía constante y por ser parte fundamental de mi entorno y de mis alegrías durante todo este proceso académico.

A mí mismo, por la valentía y el entusiasmo con los que enfrenté cada desafío. Me dedico estas líneas por haber tenido el coraje de no rendirme y la persistencia de luchar hasta obtener este resultado. A pesar de las caídas y los obstáculos que se presentaron miles de veces, siempre encontré la fuerza para levantarme y seguir batallando por lo que deseo ser. Este logro demuestra que nunca fui débil ante la adversidad; por el contrario, mi determinación es la prueba de mi esfuerzo por ser alguien mejor en la vida, para orgullo propio y de mis padres; cuando los años pasen y el tiempo deje su huella, espero volver a leer esto y recordar con nostalgia y alegría estos momentos bonitos, reconociendo que la lucha valió la pena y que la esencia de aquel joven que nunca se rindió sigue viva en mí.

Finalmente, extendiendo mi gratitud a todas aquellas personas que, de manera indirecta, me brindaron su apoyo, sus palabras de aliento o su compañía en algún momento de este trayecto, contribuyendo con su grano de arena a la realización de este sueño.

ATTE

Kevin Alexis Barrezueta Choéz

DEDICATORIA

Dedico este trabajo, en primer lugar, a Dios, por darme la fortaleza, la sabiduría y la perseverancia necesarias para culminar esta etapa tan importante de mi vida.

A mi familia, quienes han sido mi mayor apoyo y motivación a lo largo de todo este camino académico.

A mi madre, Yolanda Solari, por su amor incondicional y por creer en mí incluso en los momentos más difíciles.

A mi padre, Roberto Bermúdez (en paz descanse), porque este logro también es para él. Culminar esta tesis representa una forma de honrar su memoria.

De manera muy especial, a mi hermana Kandy Granda, quien ha sido mucho más que una hermana: ha sido una madre, una guía y hoy es mi mejor amiga. Su apoyo incondicional, su fortaleza y su amor han sido fundamentales para que nunca me rindiera, mis sobrinos, sus hijos, que son mi adoración y una fuente constante de alegría.

Y a mi cuñado José Luis Fernández, esposo de mi hermana, por ser un pilar en mi vida, por su apoyo sincero y por ser un ejemplo de responsabilidad, compromiso y valores.

Este logro es tan mío como de cada uno de ustedes

ATTE

Darline Nicole Bermúdez Solari

Evaluación del riesgo ambiental del fármaco Prednisona utilizando la microalga *Scenedesmus sp* el camarón blanco *Litopenaeus vannamei* como bioindicadores

Barrezueta Choéz Kevin Alexis; Bermúdez Solari Darline Nicole; Macías-Mayorga Dayanara
Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Facultad de Ciencias de la Vida y Tecnologías. Carrera de
Ingeniería Ambiental.

Resumen

Los contaminantes emergentes, especialmente los fármacos, han generado una inquietud cada vez mayor en las décadas recientes a causa de su permanencia en los ecosistemas acuáticos y sus posibles impactos negativos. En este sentido, el objetivo de este trabajo fue evaluar el riesgo ambiental del fármaco prednisona utilizando la microalga *Scenedesmus sp* y el camarón *Litopenaeus vannamei* como bioindicadores. La metodología incluyó bioensayos de toxicidad aguda y exposición no forzada en *L. vannamei*, además de pruebas de crecimiento celular en *Scenedesmus sp* a diversas concentraciones de prednisona y períodos de exposición (24, 48, 72 y 96 horas). Los resultados demostraron que la CL₅₀-96h para *L. vannamei* fue de 593 mg/L de prednisona, lo cual indica una baja toxicidad. No obstante, en el ensayo de fuga se observó una respuesta conductual de evitación significativa, lo que sugiere una alta sensibilidad subletal al fármaco. En el ensayo con *Scenedesmus sp* se observó una inhibición significativa del crecimiento celular. En conclusión, los hallazgos indican que la prednisona tiene el potencial de causar efectos subletales importantes en organismos acuáticos, incluso sin una mortalidad significativa, y ratifican la importancia de *Scenedesmus sp* y *L. vannamei* como bioindicadores para investigaciones ecotoxicológicas con fármacos. Estos descubrimientos brindan información esencial para robustecer las tácticas de supervisión medioambiental y la administración sostenible de los recursos hídricos en relación con contaminantes farmacéuticos emergentes.

Palabras clave: Contaminantes emergentes, prednisona, CL50, ensayo de fuga, *Scenedesmus sp*, *Litopenaeus vannamei*

1. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, los contaminantes emergentes, entre ellos los productos farmacéuticos, han generado creciente interés debido a su persistencia en ecosistemas acuáticos y sus efectos adversos sobre organismos no objetivo. Estos compuestos, que incluyen fármacos, productos de cuidado personal, hormonas y pesticidas, suelen escapar a los sistemas convencionales de tratamiento de aguas residuales, siendo descargados en ríos, lagos y mares, y permaneciendo activos incluso en concentraciones muy bajas (Sauvé & Desrosiers, 2014; García *et al.* 2023).

En América Latina, y particularmente en Ecuador, la investigación sobre contaminantes farmacéuticos en cuerpos de agua ha sido incipiente, aunque se ha incrementado en los últimos años. Esto ha resaltado la necesidad de generar metodologías adaptadas al contexto tropical y utilizar bioindicadores nativos que permitan evaluar adecuadamente los riesgos ambientales y promover una gestión sostenible de los recursos hídricos (Moreno-González *et al.* 2021; Ríos *et al.* 2022).

La prednisona, es un glucocorticoide de uso extendido en medicina humana y veterinaria, ha sido detectada en efluentes y cuerpos de agua, lo cual ha despertado preocupación por su potencial impacto ecológico. Investigaciones recientes han evidenciado que este tipo de fármacos puede alterar procesos fisiológicos clave en organismos acuáticos, como la reproducción, el crecimiento y la fotosíntesis, además de modificar relaciones tróficas, lo que repercute en la estructura de las comunidades biológicas (González Alonso *et al.* 2017; Zhou *et al.* 2022; Seoane 2019).

En este contexto, las microalgas como *Scenedesmus sp.* han cobrado importancia tanto como agentes biorremediadores y como bioindicadores ambientales. Estas microalgas fotosintéticas son sensibles a contaminantes químicos, mostrando cambios detectables en su crecimiento, metabolismo y estructura celular. Diversos estudios han reportado su efectividad en la remoción de compuestos tóxicos, incluidos fármacos, y su capacidad de reducir significativamente parámetros como la demanda bioquímica de oxígeno en aguas residuales (Escapa 2017; Cruz *et al.* 2021; Blanco *et al.* 2020).

Asimismo, su uso en ecotoxicología acuática ha permitido evaluar el impacto de fármacos antiinflamatorios y antibióticos mediante parámetros bioquímicos que reflejan efectos tóxicos como inhibición de la fotosíntesis y daño celular (Boada 2022; Chen *et al.* 2021; Zhang *et al.* 2023). Por otro lado, Seoane M. (2019) en la Universidad de A

Coruña, con el tema *Toxicidad de microcontaminantes acuáticos emergentes en microalgas marinas*, se evaluó la toxicidad de microcontaminantes acuáticos emergentes, incluyendo antibióticos y productos de cuidado personal, sobre la microalga *Tetraselmis suecica*.

Del mismo modo, organismos acuáticos como el camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*) representan modelos idóneos para estudios ecotoxicológicos por su sensibilidad a contaminantes y su relevancia ecológica y económica. Se ha documentado que la exposición a ciertos fármacos puede causar alteraciones en la función inmune, el comportamiento y la supervivencia de estos crustáceos, lo que refuerza su utilidad como bioindicadores (Ramírez *et al.* 2019; Souza *et al.* 2019; Wang *et al.* 2020). En estudios relacionados, también se han identificado efectos subletales en otras especies como *Artemia franciscana* y *Excirrolana braziliensis*, lo que evidencia la necesidad de monitorear estos compuestos en ambientes acuáticos (García *et al.* 2023).

Además, García *et al.* (2023) en la Universidad La Salle, realizaron con ensayos ecotoxicológicos con antibióticos y ansiolíticos en organismos acuático, en el cual se evaluaron los efectos toxicológicos de la oxitetraciclina y el alprazolam en organismos acuáticos como *Artemia franciscana*, *Excirrolana braziliensis* y *Apohyale grandicornis*. Los organismos fueron expuestos a diferentes concentraciones de los fármacos, y se analizaron indicadores ecotoxicológicos como mortalidad, cambios en el comportamiento y alteraciones fisiológicas. Los resultados demostraron que los organismos acuáticos pueden ser utilizados como bioindicadores para evaluar la toxicidad de contaminantes emergentes, concluyendo que la exposición a estos compuestos genera efectos adversos en organismos sensibles.

A pesar de los avances en esta área, persisten vacíos importantes, especialmente en lo que respecta a la evaluación del riesgo ambiental de la prednisona mediante organismos bioindicadores. Por ello, el objetivo de esta investigación fue evaluar el riesgo ambiental del fármaco prednisona utilizando la microalga *Scenedesmus sp.* y el camarón *Litopenaeus vannamei* como bioindicadores, con el fin de determinar su viabilidad como herramientas en estudios ecotoxicológicos. Esta aproximación no solo contribuirá a llenar un vacío científico, sino que también fortalecerá las estrategias de monitoreo ambiental y la toma de decisiones en relación con los contaminantes emergentes.

2. METODOLOGÍA

2.1 Bioensayo con la microalga *Scenedesmus sp*

Este ensayo de toxicidad se realizó en matraces Erlenmeyer de 125 mL de capacidad. Se probaron cuatro concentraciones de prednisona (20 mg/L, 40 mg/L, 80 mg/L y 160 mg/L), además de un control, todas las pruebas se ejecutaron por triplicado. En cada ensayo, se colocaron 100 mL del cultivo de microalgas por matraz (unidad experimental). A cada matraz se le añadió la concentración correspondiente del fármaco, la cual quedó disuelta en los 100 mL de cultivo. Finalmente, a las 24, 48, 72 y 96 horas de exposición, se realizó el conteo de microalgas mediante una cámara Neubauer para determinar la densidad celular resultante.

Para el conteo celular se utilizó una cámara de Neubauer (Figura 1) de 0,1 mm de profundidad, la cual consta de nueve cuadrados con lados de 1 mm (área total de recuento = 9 mm²). Cada uno de estos cuadrados corresponde a un volumen de 0,1 µL. Para la observación de las microalgas se empleó el microscopio óptico binocular (LABOMED, modelo Lx500).

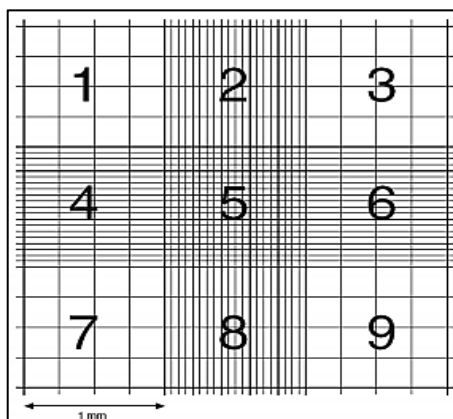


Fig. 1 Cuadrantes de la cámara Neubauer.

La fórmula para la determinación de la densidad celular es la siguiente:

$$DC = N \times 10^4 \times (F.d)$$

Dónde:

DC = densidad celular ($\times 10^4$ cel/mL)

N = promedio de células presentes en 1 mm^2 (0,1 μl). Este número de células se divide de acuerdo con el número de cuadrantes contados. Por ejemplo, si se contaron 245 en los 4 cuadrantes de una de las dos cámaras, entonces la población de células corresponde a: $61,25 \times 10^4$ cel/mL.

10^4 = factor de conversión de 0,1 μl a 1 ml

F.d = factor de dilución (cuando se considera necesario diluir la muestra).

F.d: (Vol i.+ Vol. F / vol. i).

2.2 Bioensayos de exposición a prednisona con la especie *Litopenaeus vannamei*

2.2.1 Aclimatación de los organismos

Especímenes de camarón blanco (*L. vannamei*) en estado PL 20 fueron utilizados en ensayos de exposición forzada para determinar la potencial toxicidad del fármaco prednisona. Los organismos se obtuvieron de granjas de acuicultura. Una vez en el laboratorio los camarones fueron aclimatados durante una semana en tanques de 32 L, fotoperiodo natural de 12 h / 12h (luz: oscuridad) y aireación constante.

2.2.2 Bioensayo de exposición forzada con el camarón blanco *L. vannamei* para determinación de la CL50

Este ensayo de toxicidad aguda fue realizado en unidades experimentales de 500 ml. De manera preliminar, se testaron cinco concentraciones del fármaco prednisona: 20, 40, 80, 160 y 320 mg/L, además de un control. Cada concentración de exposición fue considerada un tratamiento de exposición. Los tratamientos y el control se testaron por triplicado y se colocaron diez individuos de *L. vannamei* en cada unidad experimental.

El ensayo tuvo una duración de 96 horas, y la respuesta observada fue la mortalidad de los organismos. Durante las 24, 48, 72, y 96 horas del experimento, se contabilizó el número de organismos muertos. Una vez determinada la concentración letal media (CL50) esta fue utilizada como referencia para establecer las concentraciones empleadas en el posterior ensayo de exposición no forzada (ensayo de fuga).

2.2.3 Bioensayo de exposición no forzada con el camarón blanco *L. vannamei*

Individuos de *L. vannamei* fueron utilizados en ensayos de fuga (avoidance) para evaluar la potencial toxicidad del fármaco prednisona a través de la respuesta de sensibilidad de los organismos. Estos ensayos constituyen una herramienta útil ya que permiten conocer la capacidad de los organismos a percibir contaminantes y desplazarse hacia zonas menos contaminadas.

Para los ensayos de fuga se utilizó un sistema multicompartimentado con siete compartimentos. Cada compartimento tuvo una longitud de 27 cm, y capacidad para un volumen de 300 mL. Todo el sistema contó con una longitud de 189 cm y capacidad para un volumen de agua de 2100 mL (Fig.2).

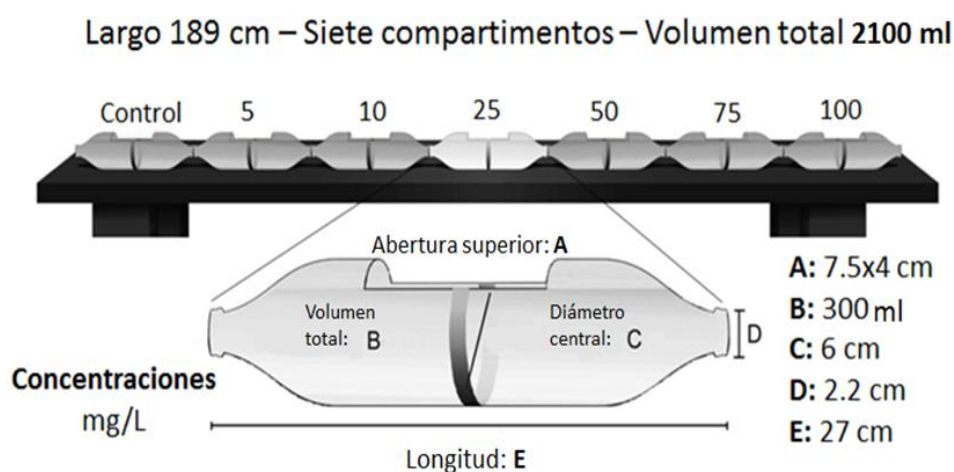


Fig.2 Sistema multicompartimentado para los ensayos de exposición no forzada

Con la finalidad de crear un gradiente de contaminación lineal, se testaron seis concentraciones (20, 40, 80, 160, 320, y 640 mg/L) de exposición a prednisona más un control. Las concentraciones utilizadas fueron establecidas en función de la CL50 determinada en el ensayo de exposición forzada. Cada concentración representó un tratamiento de exposición. Estos tratamientos fueron colocados de forma individual en un compartimento del sistema, tal como se describe en Araújo *et al.* (2014).

Cada tratamiento, junto con el control, fue testado por triplicado. Una vez preparado el gradiente lineal de contaminación, se introdujeron 3 organismos en cada compartimento, con un total de 21 organismos por sistema, y 63 organismos por test. Los

experimentos se llevaron a cabo en oscuridad. Finalmente, cada hora, durante cuatro horas de ensayo, se revisó la distribución de los organismos en el sistema.

2.3 Procesamiento de datos

2.3.1 Análisis estadístico

La normalidad de los datos fue revisada a través de la prueba de Shapiro Wilk, mientras que la homocedasticidad fue verificada mediante la prueba de Levene. Se aplicó un análisis de varianza de una vía (ANOVA) para determinar la existencia de diferencia significativa entre los tratamientos de exposición. Finalmente, se utilizó una prueba de Tukey para identificar qué medias fueron distintas entre sí. Los análisis fueron realizados con el programa InstadPad Grafic.

2.3.2 Cálculo de la CL50

El cálculo de la CL50 se realizó mediante la aplicación de la fórmula de regresión lineal:

$$y = y_1 + \frac{(x - x_1) * (y_2 - y_1)}{x_2 - x_1}$$

2.3.3 Cálculo de fuga/evasión

El cálculo de la fuga será basado en el método descrito por Moreira-Santos *et al.* 2008:

$$Fugados = (NE - NO)$$

Donde:

(NE) = número de organismos esperados

(NO) = número de organismos observados

Para calcular la evasión (fuga) en porcentajes (%) se utilizará la fórmula:

$$Fuga = (Fugados / NE) * 100$$

Donde:

NE es el número de organismos que se espera en cada compartimento, considerando una distribución homogénea de los organismos observados, lo que supone ninguna preferencia para cualquier concentración de exposición. Se calculará con el

número total de organismos observados dentro de los compartimentos, y dividido entre el número correspondiente al compartimento. Por tanto, para la sección más contaminada (#7; 100% de agua del test), el número de organismos que se espera es igual al número total de organismos observados dentro de las secciones #1 a #7 dividido para el número de la sección, en este caso (es decir, 7).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Bioensayo de toxicidad con la especie *Scenedesmus sp*

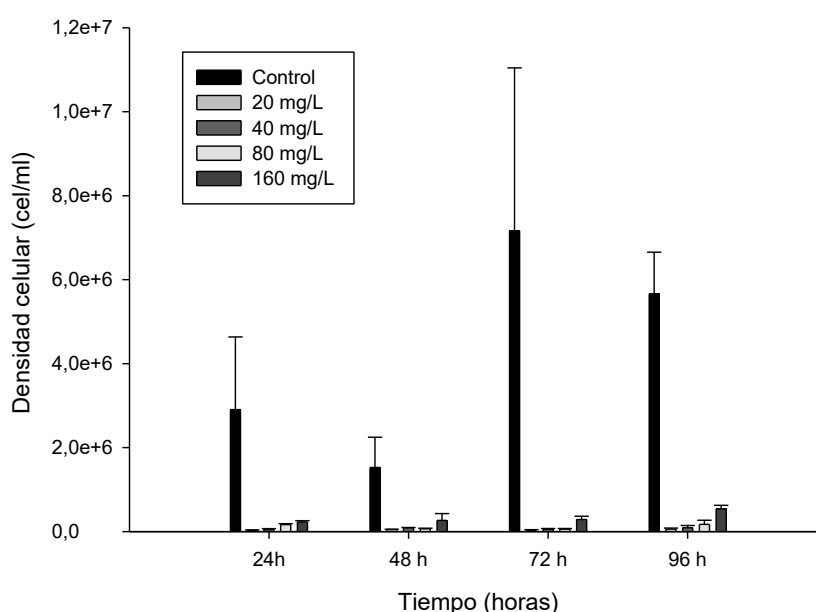


Fig. 3 Densidad celular de la microalga *Scenedesmus sp.* expuesta a diferentes concentraciones de prednisona durante 24, 48, 72 y 96 horas de exposición.

En la Figura 3 se puede observar una inhibición severa del crecimiento celular en la microalga *Scenedesmus sp* desde las 24 horas en todos los tratamientos con respecto al control, durante todos los días de ensayo ($p < 0,05$). Sin embargo, los tratamientos fueron estadísticamente iguales.

La notable inhibición del crecimiento de *Scenedesmus sp* en todos los tratamientos con prednisona coincide con lo reportado por Fent *et al.* (2006), quienes afirman que los medicamentos de uso humano tienen el potencial de provocar un impacto considerable en la dinámica poblacional y el crecimiento de microalgas, incluso a niveles de concentración relativamente bajos. De acuerdo con estos autores, los compuestos farmacéuticos tienen la capacidad de alterar procesos metabólicos fundamentales, como

la división celular y la fotosíntesis. Esto causa una disminución significativa de la densidad celular desde las fases iniciales de exposición, como se demostró en el presente estudio desde las 24 horas.

Además, el comportamiento diferente que se notó en la concentración de 160 mg/L, con un aumento leve en la densidad celular alrededor de las 96 horas, aunque sin alcanzar niveles semejantes al control, podría entenderse como una reacción de adaptación fisiológica o tolerancia parcial. Ebert *et al.* (2011) indican que las microalgas expuestas a contaminantes farmacéuticos exhiben respuestas no lineales, que incluyen una inhibición inicial y una recuperación restringida; esto se debe a procesos de aclimatación o a la activación de rutas alternativas para detoxificar.

3.2 Bioensayo de exposición forzada con el camarón blanco *Litopenaus vannamei*, determinación de la concentración letal media (CL50).

La CL50 determinada en *L. vannamei* fue de 593 mg/L de prednisona a las 96 horas de ensayo. El análisis de los datos indica la ausencia de una relación dosis-respuesta positiva, ya que el incremento en la concentración del tóxico no generó un aumento proporcional en la mortalidad.

Tu *et al.* (2022) han reportado hallazgos parecidos, indicando que el tipo de compuesto y su mecanismo de acción determinan en gran medida la toxicidad aguda en *L. vannamei*, presentándose respuestas no lineales o niveles altos de toxicidad antes de que se produzca una mortalidad importante en ciertas situaciones. En adición, autores como Cui *et al.* (2023) enfatizan que la mortalidad no es siempre el punto más sensible para analizar la toxicidad de sustancias farmacéuticas en organismos acuáticos, sugiriendo que se añadan parámetros bioquímicos, comportamentales o fisiológicos para una evaluación ecotoxicológica más completa. Por ende, el hecho de que no haya una relación dosis-respuesta evidente, y la alta CL50 estimada en esta investigación no descartan potenciales efectos subletales que podrían presentarse a exposiciones prolongadas o en diferentes circunstancias del medio ambiente.

3.3 Bioensayo de exposición no forzada con el camarón blanco *L. vannamei*

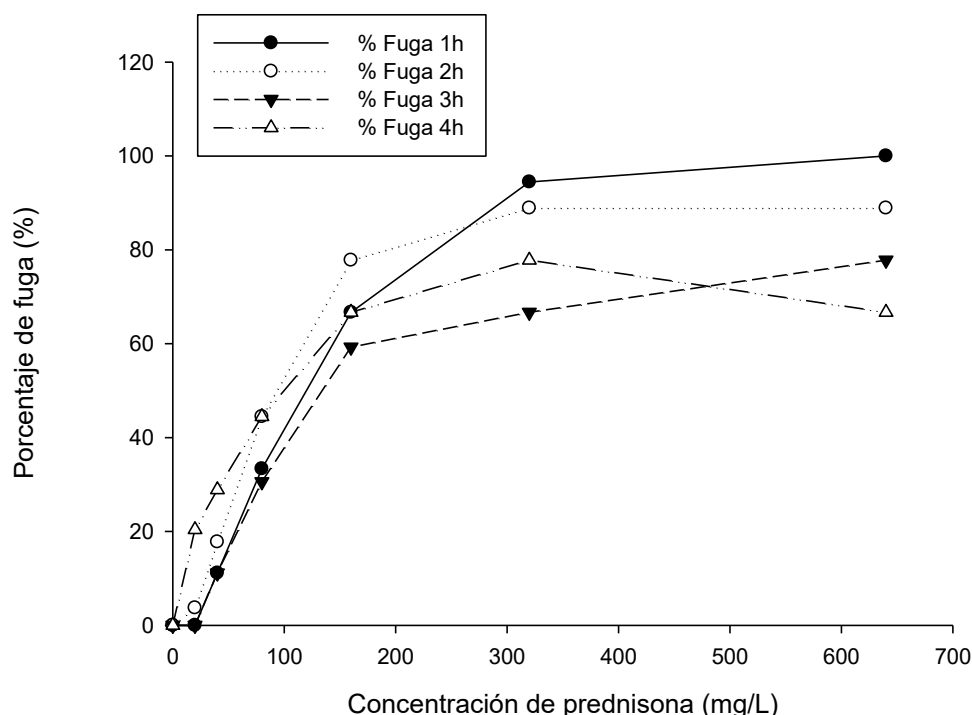


Fig. 4 Curva dosis-respuesta. Respuesta de fuga en la especie *L. vannamei* expuesta a distintas concentraciones de prednisona.

En la figura 4 se evidencia que, desde la primera hora de exposición, los organismos manifestaron un marcado comportamiento de evasión, alcanzando niveles de fuga del 66,7%, 94,4% y 100% bajo las concentraciones de 160, 320 y 640 mg/L respectivamente. Durante la segunda hora del ensayo, la respuesta de evitación persistió con una intensidad del 88,9% en ambos tratamientos de mayor concentración. Al evaluar el periodo final del bioensayo (tercera y cuarta hora), se observó una estabilización en la conducta de los especímenes, con porcentajes de fuga que fluctuaron entre 66,67% y 77,78% en las dosis de mayor concentración. Esta variabilidad conductual detectada en *L. vannamei* demuestra una correlación significativa con el gradiente de concentración al que fueron expuestos, validando la sensibilidad de la especie mediante una respuesta de huida ante la presencia de la prednisona. El análisis estadístico demostró que la respuesta observada estuvo relacionada con la concentración de exposición ($P < 0,05$)

La conducta de evasión en *L. vannamei* es coherente con lo que Araújo *et al.* (2014) indicaron y ha sido confirmado en investigaciones más recientes, como la de Cui *et al.* (2023), en la cual se identifica a la evitación conductual como uno de los indicadores subletales más sensibles para detectar tempranamente contaminantes emergentes en

organismos acuáticos. Estos autores afirman que las reacciones de huida pueden presentarse aun sin la existencia de efectos letales, funcionando como un mecanismo adaptativo en respuesta a condiciones ambientales desfavorables.

La sensibilidad conductual que *L. vannamei* exhibe es particularmente significativa si tenemos en cuenta su valor ecológico y productivo, porque esta especie supone cerca del 95% de la producción camaronera ecuatoriana, estos datos coinciden con Rúales (2012), los cuales mencionan que, proporcionan datos pertinentes y actuales para la valoración de riesgos relacionados con contaminantes emergentes en especies de gran valor económico, y apoyan el empleo de bioensayos no forzados como instrumentos adicionales en investigaciones ecotoxicológicas.

4. CONCLUSIONES

- El alto valor de la CL50_{96h} (593 mg/L de prednisona) determinado en la especie *L. vannamei* permitirían clasificarlo como un fármaco no tóxico. Sin embargo, la elevada sensibilidad de *Litopenaeus vannamei* ante la exposición a prednisona, evidenciada mediante la respuesta conductual de evitación, no descartan potenciales efectos subletales que podrían presentarse a exposiciones prolongadas o en diferentes circunstancias del medio ambiente. Este hecho, también demuestra que la mortalidad no es siempre el punto más sensible para evaluar la toxicidad de los fármacos.
- La significativa inhibición del crecimiento celular en la especie *Scenedesmus sp* durante la exposición a prednisona demuestran el efecto tóxico de este fármaco.
- Los hallazgos corroboran que el fármaco prednisona representa un riesgo ambiental para los organismos acuáticos, y demuestran que el empleo de *Scenedesmus sp* y *L. vannamei* como bioindicadores para la valoración ecotoxicológica de contaminantes farmacéuticos es factible.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abril Ibarra, Z. A 2022. Evaluación de la actividad antioxidante y antiinflamatoria de extractos obtenidos de *Scenedesmus sp.* [Trabajo de titulación, Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología, Carrera de Biotecnología]. <https://repositorio.uta.edu.ec/items/9fd4b61d-4bdb-44f2-9430-21445cbd9e22>
- Araújo, C. V. M., Shinn, C., Mendes, L. B., Delello-Schneider, D., Sánchez, A. L., & Espíndola, E. L. G. 2014. Avoidance response of *Danio rerio* to a fungicide in a linear contamination gradient. *Science of the Total Environment*, 484, 36–42. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.02.074>
- Barcia, J., Sánchez, W., & Macías, D. 2022. Evaluación del riesgo ambiental de contaminantes emergentes: paracetamol y diclofenaco (Tesis de grado). Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Repositorio institucional. <https://repositorio.ulead.edu.ec>
- Boada Vaca, A. E 2022. Uso de microalgas en el aporte de la biorremediación de recursos naturales contaminados con fármacos [Trabajo de titulación modalidad Proyecto de Investigación Bibliográfica, Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Químicas].
- Chen, L., Wang, Y., Wang, C., & Wang, P. 2021. Toxicity of pharmaceuticals in the aquatic environment: A review. *Environmental Chemistry Letters*, 19(1), 189–213. <https://doi.org/10.1007/s10311-020-01011-1>
- Cruz Calderón, X., & Gonzales Rubio, R. A. 2021. Evaluación del uso de microalgas en la reducción de la demanda bioquímica de oxígeno en aguas residuales. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCVV_7dfe6f28a5b78892ee3150bca7b6137b/DetailsALICIA
- Cui, D., Li, X., Zhang, J., & Wang, Y. 2023. Toxicological effects of emerging contaminants on aquatic invertebrates: Beyond mortality endpoints. *Environmental Pollution*, 316, 120514. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120514>
- Ebert, I., Bachmann, J., Kühnen, U., Küster, A., Kussatz, C., Maletzki, D., & Schlüter, C. 2011. Toxicity of pharmaceuticals to aquatic microorganisms: Algae, bacteria and

- protozoa. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 74(6), 1609–1618.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2011.05.020>
- Escapa Santos, C. 2017. Biorremediación de aguas contaminadas con nutrientes y fármacos mediante microalgas [Tesis doctoral, Universidad de León, Instituto de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Biodiversidad, Departamento de Química y Física Aplicadas].
- Fent, K., Weston, A. A., & Caminada, D. 2006. Ecotoxicology of human pharmaceuticals. *Aquatic Toxicology*, 76(2), 122–159.
<https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2005.09.009>
- García, M., Minaya, D., Alvariño, L., Iannaccone, J., & Rodríguez, A. 2023. Ensayos ecotoxicológicos para evaluar antibióticos y ansiolíticos en el ambiente acuático. *Producción + Limpia*, 18(1), 64–84.
<https://doi.org/10.22507/pml.v18n1a5Revistas Unilasallista>
- Gómez, R., & Pérez, F. 2024. Impacto de contaminantes emergentes en ecosistemas acuáticos. *Environmental Sustainability Journal*, 22(4), 123-135.
- López, M., & Jiménez, S. 2021. Monitoreo de contaminantes químicos en aguas residuales. *Aqua Research*, 15(1), 78-90.
- Martínez, C., & López, J. 2024. Contaminantes farmacéuticos y su efecto en la biota acuática. *Journal of Environmental Science*, 34(1), 67-75.
- Morales, P., & Torres, G. 2022. Evaluación del riesgo ambiental en cuerpos de agua en Manabí. *Revista Ecuatoriana de Ciencias Ambientales*, 10(3), 33-40.
- Moreno-González, R., Rodríguez-Mozaz, S., & Barceló, D. 2021. Occurrence and distribution of pharmaceuticals in surface water, suspended solids, and sediments from a Mediterranean river basin (Spain). *Science of the Total Environment*, 754, 142416. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142416>
- Ríos, J. J., López, M. A., & Martínez, J. L. 2022. Pharmaceuticals in the aquatic environment: A review on their occurrence, fate, and removal. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(5), 7071–7090.
<https://doi.org/10.1007/s11356-021-16039-0>
- Rúales Carpio, Á. 2012. Evaluación del rendimiento del camarón *Litopenaeus vannamei* en cautiverio a través de un sistema de producción tradicional y un sistema de

- producción con aireadores de paletas (Trabajo de titulación). Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Repositorio Digital UCSG. <https://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/991>
- Secretaría Nacional de Planificación. 2021. Plan Nacional de Desarrollo 2021–2025: Creando Oportunidades. Quito, Ecuador. <https://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/09/Plan-Nacional-de-Desarrollo-2021-2025.pdf>
- Seoane Méndez, M. 2018. Efecto tóxico de microcontaminantes acuáticos emergentes sobre microalgas marinas mediante el análisis de biomarcadores de citotoxicidad [Tesis doctoral, Universidade da Coruña]. Repositorio RUC. <http://hdl.handle.net/2183/20907RUCUDC+1portalinvestigacion.udc.gal+1>
- Souza, T. S., Oliveira, R. D., & Ferreira, M. F. 2019. Effects of pharmaceuticals on aquatic invertebrates: A review. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 68, 101–108. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2019.03.004>
- Tu, H., Chen, Y., Xu, Q., & Lin, Y. 2022. Evaluation of short-term toxicity of ammonia and nitrite on the survival of whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquaculture Reports*, 23, 101035. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2022.101035>
- Varela-Mejías, Alexander, & Alfaro-Mora, Ramsés. 2018. Revisión sobre aspectos farmacológicos a considerar para el uso de antibióticos en la camaronicultura. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 29(1), 1–14. <https://doi.org/10.15381/rivep.v29i1.14186>
- Wang, Y., Zhang, H., & Zhang, Y. 2020. Toxic effects of pharmaceuticals on aquatic invertebrates: A review. *Environmental Pollution*, 263, 114404. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114404>
- Zhang, Y., Zhang, Y., Liu, Y., & Wang, J. 2023. Effects of pharmaceuticals on freshwater microalgae: A review. *Environmental Pollution*, 316, 120567. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120567>
- Zhou, L. J., Ying, G. G., Liu, S., Zhang, R. Q., Lai, H. J., Chen, Z. F., & Pan, C. G. 2012. Occurrence and fate of eleven classes of antibiotics in two typical wastewater treatment plants in South China. *Science of the Total Environment*, 452–453, 267–276. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.02.059>