

RESPUESTA CONDUCTUAL DE POSTLARVAS DE CAMARÓN BLANCO *LITOPENAEUS VANNAMEI* FRENTE A LA PRESENCIA DE FILTROS SOLARES EN EL AGUA

BEHAVIORAL RESPONSE OF WHITE SHRIMP POSTLARVAE *LITOPENAEUS VANNAMEI* TO THE PRESENCE OF SUNSCREENS IN THE WATER

Fatima Cedeño Cuenca¹, José Falconí Novillo²

{fcedenoc4@unemi.edu.ec¹, jfalconin@unemi.edu.ec²}

Fecha de recepción: 19/06/2026 / Fecha de aceptación: 15/07/2026 / Fecha de publicación: 25/08/2026

RESUMEN: Los filtros solares son contaminantes emergentes que pueden llegar a los cuerpos de agua por el uso recreativo y por descargas domésticas. El comportamiento locomotor de las postlarvas de *Litopenaeus vannamei* expuestas a 25 y 300 mg/L de protector solar fue el objeto de estudio de esta investigación. Para ello se aplicó un bioensayo estático que contenía un control y dos tipos de tratamientos (25 y 300 mg/L) evaluados tras 24 h y 48 h de exposición. La actividad fue estimada por medio de la distancia recorrida y la estadística fue una complementación de la media de las distancias de desplazamiento, del coeficiente de variación (CV) y del análisis de densidad de Kernel. En cuanto a las diferencias, las pruebas de comparación para la distancia media de desplazamiento no mostraron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$). No obstante, a las 24 h el tratamiento de 25 mg/L mostró la mayor variabilidad (CV = 171,3%) y la mayor dispersión de los datos con valores extremos, mientras que a las 48 h los grupos de los tratamientos mostraron una mayor proporción de registros en distancias bajas, lo que anida con una reducción general de la actividad locomotora. En resumen, los resultados reflejan cambios en la variabilidad y en la distribución de la respuesta que no se perciben al comparar solamente las medias. Estos hallazgos aportan evidencia inicial sobre posibles efectos subletales de los filtros solares en postlarvas de *L. vannamei* y respaldan el uso de indicadores conductuales en estudios ecotoxicológicos.

Palabras clave: *Litopenaeus vannamei*, filtros solares, comportamiento locomotor, efectos subletales, ecotoxicología, variabilidad conductual

¹Universidad Estatal de Milagro, <https://orcid.org/0009-0008-3000-3188>.

²Universidad Estatal de Milagro, <https://orcid.org/0000-0003-2623-115X>.

ABSTRACT: Sunscreens are emerging pollutants that can enter water bodies through recreational use and domestic discharges. This study investigated the locomotor behavior of *Litopenaeus vannamei* postlarvae exposed to 25 and 300 mg/L of sunscreen. A static bioassay was conducted, consisting of a control and two treatment groups (25 and 300 mg/L), which were evaluated after 24 and 48 hours of exposure. Activity was estimated based on the distance traveled, and the statistical analysis included the mean displacement distances, the coefficient of variation (CV), and Kernel density analysis. As for the differences, the comparison tests for the mean displacement distance showed no statistically significant differences ($p > 0.05$). However, at 24 h, the 25 mg/L treatment showed the greatest variability (CV = 171.3%) and the widest dispersion of data with extreme values, whereas at 48 h, the treatment groups showed a higher proportion of records at short distances, which is consistent with an overall reduction in locomotor activity. In summary, the results reflect changes in the variability and distribution of the response that are not apparent when comparing only the means. These findings provide initial evidence of possible sublethal effects of sunscreens on *L. vannamei* postlarvae and support the use of behavioral indicators in ecotoxicological studies.

Keywords: *Litopenaeus vannamei*, sunscreens, locomotor behaviour, sublethal effects, ecotoxicology, behavioural variability

INTRODUCCIÓN

La presencia de compuestos emergentes en los ecosistemas acuáticos se relaciona con el uso cotidiano de sustancias químicas y con el incremento de las actividades humanas. Dentro de este grupo se encuentran los filtros solares, presentes en productos de cuidado personal que pueden llegar a zonas costeras y marinas por actividades recreativas, descargas domésticas y efluentes de plantas de tratamiento (1, 2, 3, 4, 5). Algunos de estos compuestos persisten en el ambiente y se han detectado en agua, sedimentos y tejidos biológicos, lo que favorece su interacción con organismos acuáticos (1, 2, 6, 7). Los protectores solares contienen filtros ultravioleta orgánicos e inorgánicos diseñados para absorber o reflejar radiación UV. Sin embargo, varios estudios han reportado efectos adversos de ciertos compuestos, entre ellos oxibenzona y octinoxato, en organismos marinos (8, 9, 10, 11).

La ecotoxicología conductual permite observar señales tempranas de estrés antes de que aparezcan efectos letales. Variables como la actividad locomotora, los patrones de nado, la capacidad de respuesta y los movimientos erráticos son útiles para explorar efectos subletales de contaminantes químicos (12, 13, 14, 15, 16). Estos cambios pueden influir en procesos relevantes para la supervivencia, como la búsqueda de alimento, la evasión de depredadores y la reproducción (17, 18). El camarón blanco del Pacífico, *Litopenaeus vannamei*, posee gran importancia para la acuicultura ecuatoriana. Sus etapas larvarias y postlarvarias son sensibles a variaciones de la calidad del agua, por lo que pueden utilizarse como modelo en ensayos toxicológicos y ecotoxicológicos (19, 20, 21).

Aunque el interés por los filtros solares en ambientes acuáticos ha aumentado, la información sobre sus efectos conductuales en crustáceos de importancia acuícola sigue siendo limitada (8, 21). Los estudios disponibles muestran que la respuesta puede cambiar según la concentración, el tiempo de exposición y la sensibilidad de los individuos, por lo que el análisis de promedios no siempre permite describir toda la variabilidad del comportamiento (15, 21, 22, 23). Por ello, este trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de 25 y 300 mg/L de protector solar sobre el comportamiento locomotor de postlarvas de *L. vannamei*, mediante el análisis de la distancia recorrida, la variabilidad conductual y la distribución de la respuesta locomotora. El estudio busca aportar información sobre posibles efectos subletales de los filtros solares en organismos acuáticos.

Los efectos observados en organismos acuáticos no son iguales para todos los filtros solares ni para todas las especies. Dependen de la composición del producto, la concentración, el tiempo de contacto y las condiciones del agua (6, 7, 8, 11). De este modo, los ensayos de laboratorio deben considerarse como una aproximación controlada, no como una reproducción exacta de lo que ha sucedido en un ecosistema. Pese a la limitación que comporta, sí permiten la detección de señales que justificarían estudios posteriores ya con concentraciones ambientalmente representativas y además un mayor control fisicoquímico.

Estudiar el movimiento de las postlarvas resulta pertinente porque el desplazamiento forma parte de actividades básicas como la exploración, la alimentación y la respuesta frente a estímulos del ambiente. La presente investigación se centró en describir si las concentraciones evaluadas se asociaban con cambios en la distancia recorrida y en la variabilidad del comportamiento. No se pretendió identificar el ingrediente responsable del efecto, sino aportar una primera descripción de la respuesta de *L. vannamei* ante la exposición experimental.

El análisis de este tipo de respuesta es especialmente útil cuando los organismos no muestran mortalidad inmediata, pero sí cambios que pueden anticipar una alteración de su desempeño. La distancia recorrida no resume por completo el comportamiento; por eso se incorporaron medidas de variación y gráficos de distribución. Esta combinación permite describir con mayor detalle cómo se comportan los individuos dentro de cada tratamiento y evita que una sola medida o un solo promedio determine la interpretación del estudio (12, 14, 15, 16).

MATERIALES Y MÉTODOS

Organismos y condiciones experimentales

Se utilizaron postlarvas de *Litopenaeus vannamei* en estadio PL13, obtenidas de un laboratorio de cultivo larvario comercial. Se transportaron al sitio experimental evitando cambios bruscos de temperatura y salinidad. En el laboratorio se mantuvieron en

recipientes de 2 L con agua de mar filtrada, aireación constante y un ciclo de 12 h de luz y 12 h de oscuridad. La salinidad se mantuvo en 33 PSU y la temperatura en 25 °C, condiciones adecuadas para el cultivo de la especie (19). Durante el mantenimiento se realizó sifoneo cada dos días para retirar residuos orgánicos.

Antes de iniciar el ensayo, las postlarvas permanecieron 48 h en aclimatación. Este periodo buscó reducir el efecto de la manipulación antes de la exposición experimental.

Preparación de soluciones y concentraciones

Las soluciones se prepararon a partir de un protector solar comercial y agua de mar como medio de dilución. Se empleó un diseño de exposición estática con tres tratamientos: control (0 mg/L), concentración baja (25 mg/L) y concentración alta (300 mg/L) (24). Para 300 mg/L se disolvieron 1,8 g de producto en 6 L de agua de mar; para 25 mg/L se disolvieron 0,3 g en 12 L. Las soluciones se agitaron durante 10 min con agitador magnético antes de su uso.

Tabla 1. Tratamientos experimentales y cálculo de concentraciones de protector solar.

Parámetro	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3
Tipo de tratamiento	Control	Bajo	Alto
SPF	100	100	100
Concentración (mg/L)	0	25	300
Concentración relativa (%)	0	8,3	100
Cantidad protector solar (g)	0	0,3	1,8
Volumen (L)	6	12	6
Relación (g/L)	0	0,025	0,3

Nota. Las concentraciones se calcularon a partir de la relación masa/volumen y se expresaron en mg/L. La concentración relativa tomó como referencia el tratamiento de 300 mg/L (100%).

Diseño experimental

El ensayo se realizó en recipientes transparentes de 200 mL, con 90 mL de la solución correspondiente en cada unidad. Se seleccionaron postlarvas de tamaño semejante para reducir la variación biológica. El sistema fue de exposición directa y no incluyó gradientes espaciales; por ello, permitió evaluar cambios en la actividad locomotora, pero no respuestas de evitación (12, 13, 14, 15, 16).

Se situó una postlarva por unidad experimental y se trabajó con 12 réplicas por tratamiento. La asignación fue aleatoria. Antes del registro, cada uno de los organismos fue acondicionado durante 2 min; a continuación, se realizó una grabación continua de 3 min. Las observaciones se realizaron a las 24 y 48 h de exposición.

Variables de estudio

La variable principal fue la distancia total recorrida por cada una de las postlarvas, utilizada como indicador de actividad locomotora. También se registraron observaciones cualitativas, como movimientos erráticos, inmovilidad, disminución de la actividad y posibles respuestas de escape (3, 12).

Análisis de datos

La distancia recorrida se obtuvo a partir de videograbaciones procesadas con ImageJ y Tracker. El análisis estadístico se realizó en R (v. 4.5.3). Se calcularon media, mediana, desviación estándar y coeficiente de variación (CV%) para describir la dispersión de los datos.

La normalidad y la homogeneidad de varianzas se evaluaron con las pruebas de Shapiro-Wilk y Levene. Debido a la dispersión y a la presencia de valores atípicos, se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Como complemento descriptivo se elaboraron histogramas y estimaciones de densidad de Kernel con ggplot2 (25, 26).

RESULTADOS

3.1 Actividad locomotora y distancia de desplazamiento

Se evaluó el efecto de dos concentraciones de protector solar (25 mg/L y 300 mg/L) sobre la actividad locomotora de postlarvas de *Litopenaeus vannamei*. El análisis de la respuesta conductual mediante la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis no reveló variaciones estadísticamente significativas en la distancia neta de movimiento en ninguno de los tiempos de evaluación. A las 24 horas de exposición, los organismos mostraron patrones de movimiento comparables al grupo control ($p = 0.28$). Los valores promedio registrados para los tratamientos de baja (55.6 ± 94.7 mm) y alta concentración (46.3 ± 62.8 mm) fueron superiores al control (18.0 ± 22.4 mm). Sin embargo, la alta dispersión de los datos impidió establecer una diferencia estadística (Figura 1). A las 48 horas, no se detectaron diferencias significativas ($p = 0.58$). No obstante, los grupos expuestos presentaron valores inferiores al control. Las postlarvas bajo el tratamiento de baja concentración recorrieron un promedio de 14.6 mm y las de alta concentración 18.2 mm, mientras que el grupo control alcanzó 32.3 mm. Los diagramas de caja muestran mediana, rango intercuartílico y variabilidad individual ($n = 12$ por tratamiento). La prueba de Kruskal-Wallis no mostró diferencias significativas entre grupos ($p > 0,05$).

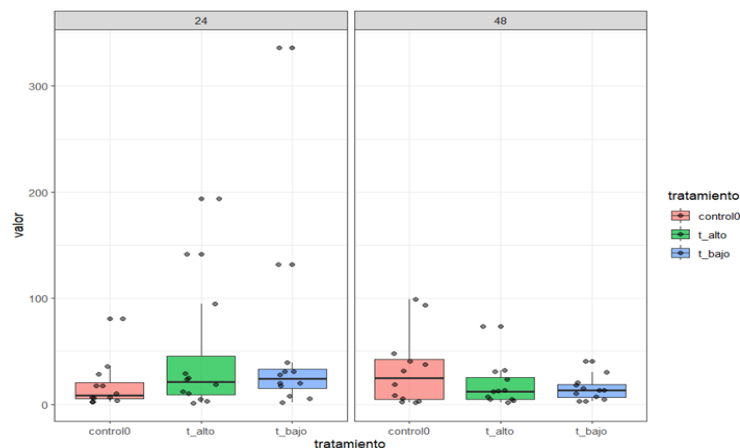


Figura 1. Distancia recorrida (mm) por postlarvas de *L. vannamei* expuestas a distintas concentraciones de filtros solares durante 24 y 48 h.

3.2 Estabilidad conductual y coeficiente de variación (CV%)

Debido a que la magnitud del desplazamiento no mostró diferencias significativas, se empleó el coeficiente de variación (CV%) como apoyo descriptivo para observar la estabilidad de la respuesta. A las 24 h, el grupo de baja concentración alcanzó el valor más alto (CV = 171,3%), por encima del control y del tratamiento de 300 mg/L. A las 48 h, los valores de CV disminuyeron, sobre todo en 25 mg/L (77,6%), lo que coincide con una respuesta más concentrada en distancias bajas.

Tabla 2. Parámetros descriptivos del desplazamiento locomotriz de *L. vannamei*.

Tiempo (h)	Tratamiento	Promedio (mm)	Desv. Estándar ($\pm$)	Variabilidad (CV%)
24	Control	18.0	22.4	125.7%
24	Bajo (25 mg/L)	55.6	94.7	171.3%
24	Alto (300 mg/L)	46.3	62.8	136.6%
48	Control	32.3	33.9	105.7%
48	Bajo (25 mg/L)	14.6	11.4	77.6%
48	Alto (300 mg/L)	18.2	20.3	111.6%

Nota. En la Tabla 2 se observa que, a las 24 h, los tratamientos con protector solar presentaron valores promedio superiores al control, mientras que a las 48 h se registró una disminución en los organismos expuestos. Los coeficientes de variación elevados muestran una respuesta dispersa, por lo que los datos deben interpretarse junto con los gráficos de distribución y no solo con los promedios.

3.3 Observaciones cualitativas y patrones de movimiento

Complementando el análisis cuantitativo de la actividad locomotora, las observaciones cualitativas permitieron identificar alteraciones conductuales relevantes que no fueron completamente evidentes mediante las métricas de distancia recorrida. A lo largo de las jornadas experimentales se registraron alteraciones progresivas del comportamiento locomotor de las postlarvas sometidas a filtros solares, experimentándose en particular en los tratamientos de 25 y 300 mg/L, en respuesta a mecanismos vinculados al estrés químico y/o percepción del contaminador.

En la primera medición realizada a las 24 h, las postlarvas que percibieron el tratamiento de 25 mg/L presentaron episodios de aumentada actividad, desarrollando movimientos rápidos y bruscos dentro del recipiente experimental; en varias postlarvas se registraron movimientos de escape, aceleraciones bruscas y trayectorias erráticas alternadas con cortos episodios de reposo. Este patrón puede caracterizarse como una conducta como respuesta inicial a la estimulación de la exposición.

En el contexto de los 300 mg/L, las respuestas comportamentales fueron más heterogéneas: aunque hubo casos de individuos que presentaron en sus movimientos (activación inicial), la mayoría mostró hombros menos coordinados y un comportamiento relativamente asociado a la permanencia en determinados lugares del recipiente. Se registraron trayectorias circulares, movimientos en espiral y desplazamientos erráticos, sin dirección determinada, que se consideran un signo de la alteración neuroconductual de los organismos acuáticos expuestos a condiciones de toxicidad; además se podía observar pérdida parcial de estabilidad en el movimiento, lo que se hacía visible a partir de cambios bruscos de la orientación corporal, y dificultades para mantener patrones continuos de nado.

A las 48 horas los fallos conductuales se hicieron evidentes en ambos tratamientos. Las postlarvas expuestas, tras estas 48 horas presentaron un descenso general de la actividad locomotora, acompañada de periodos largos de inmovilidad y reducción de la frecuencia de los desplazamientos; este comportamiento fue más evidente en el tratamiento de 300 mg/L, ya que muchos individuos permanecieron en estado de inmovilidad durante periodos largos, que fue interrumpido solamente por movimientos cortos y poco frecuentes. Este estado sugiere un estado de depresión motora o sopor asociado al tiempo de exposición al contaminante.

De la misma forma, dentro de algunos organismos expuestos hemos visto síntomas de desorientación, evidenciados por choques sucesivos contra las paredes del recipiente y cambios bruscos en la dirección del movimiento. Estos comportamientos reflejan, en principio, que se pueden ver alterados los sistemas de percepción del espacio y de la motricidad. Por el contrario, el grupo control tuvo un patrón manifiestamente y muy consolidado en el transcurso del experimento, caracterizado no solo por unas trayectorias

de desplazamiento más regulares, sino también una menor frecuencia de presencia de períodos de inmovilidad y un desplazamiento más homogéneo entre los individuos.

Las observaciones cualitativas también nos indican una notable variabilidad intraespecífica en la respuesta al contaminante: así, mientras unos organismos responden con actividad muy intensa otros inmediatamente responden inhibiendo el movimiento, lo que pone de manifiesto diferencias individuales en la sensibilidad fisiológica y la tolerancia al estrés químico. Esta heterogeneidad es consistente con los altos valores observados del coeficiente de variación a las 24 h, lo que corrobora la existencia de una fragmentación conductual entre las poblaciones expuestas.

Los patrones observados describen cambios conductuales en las postlarvas expuestas a filtros solares. La respuesta no fue uniforme entre individuos y cambió con el tiempo, pasando de registros más dispersos a las 24 h hacia una mayor concentración de distancias bajas a las 48 h. Por ello, más que hablar de un efecto definitivo, los datos permiten reconocer señales conductuales que deben confirmarse en estudios posteriores.

3.4 Relación dosis-respuesta no lineal

Los datos descriptivos no mostraron una relación dosis-respuesta lineal clara (Figura 2). El tratamiento de 25 mg/L a las 24 h presentó un promedio de distancia recorrida superior al del tratamiento de 300 mg/L, lo que sugiere una actividad inicial mayor para la concentración baja. Esta tendencia fue invertida a las 48 h, ya que los organismos expuestos a este concentrado se desplazaron menos, especialmente en el tratamiento a mayor concentración. Este resultado indica que el tiempo de exposición ha tenido un efecto en la respuesta observada.

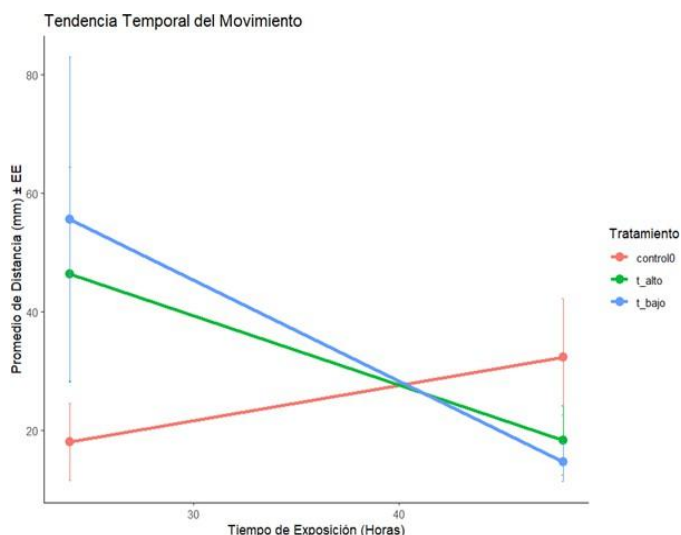


Figura 2. Gráfico de interacción que muestra los cambios en la actividad locomotora entre tratamientos y tiempos de exposición.

3.5 Análisis de densidad y distribución de frecuencias

El análisis de histogramas de frecuencia permitió evaluar la estructura de la respuesta locomotora a nivel poblacional, tal como se observa en la Figura 3. Pasadas 24 h de exposición, el grupo control exhibió unos valores concentrados en los bajos desplazamientos, lo que demuestra una conducta relativamente homogénea. Por el contrario, los tratamientos testados exhibieron distribuciones más anchas y dispersas, además de la presencia de datos extremos, en el caso del tratamiento de 25 mg/L, se identificó la presencia de individuos con grandes desplazamientos, provocando así que la distribución mostrase una “cola larga” en ella.

Este tipo de comportamiento es una respuesta no homogénea, donde coexisten organismos con actividad locomotora alta y baja, lo que da lugar a una fragmentación de la respuesta poblacional al contaminante. A las 48 h, los histogramas muestran un desplazamiento general de las distribuciones hacia rangos bajos de movimiento (0-50 mm), reflejando que se trata de una proporción mayor de organismos con actividad reducida. Este tipo de patrón sugiere un paso hacia un estado de inhibición o depresión motora.

El grupo control tiene una representación más amplia de las distribuciones, lo que pone de relieve una mayor estabilidad de la actividad locomotora. La representación gráfica permite detectar variaciones en la moldura y dispersión de las respuestas en las distribuciones que no se detectan con los promedios, haciendo énfasis en una dinámica temporal en la respuesta conductual y tomando en consideración la importancia de evaluar la forma de la estructura poblacional para detectar efectos subletales.

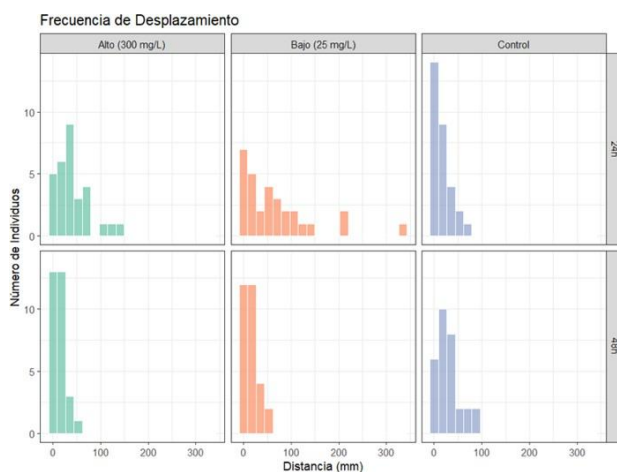


Figura 3. Histogramas de frecuencia del desplazamiento (mm) en postlarvas de *L. vannamei* expuestas a diferentes concentraciones de protector solar.

3.6 Índice de inestabilidad conductual (CV%)

El análisis del coeficiente de variación (CV%) permitió evaluar la variabilidad conductual entre tratamientos y tiempos de exposición, tal como se observa en la Figura 4. A las 24



horas, el tratamiento de 25 mg/L presentó el mayor nivel de inestabilidad ($CV = 171,3\%$), superando tanto al control como al tratamiento de 300 mg/L, lo que indica una alta heterogeneidad en la respuesta locomotora de los individuos expuestos a concentraciones subletales. Esta tendencia sugiere que los organismos muestran respuestas diferentes a las primeras exposiciones, como respuesta a la percepción de la sustancia nociva.

Con 48 horas, se puede observar que todos los tratamientos presentan una disminución general del coeficiente de variación ($CV\%$), siendo el tratamiento de 25 mg/L el que muestra una bajada más acentuada (77.6%). La disminución de la variabilidad parece una tendencia hacia un comportamiento general más homogéneo, asociado a una disminución de la actividad locomotora. Este patrón revela la tendencia de un estado inicial de excitación (caracterizado por la alta variabilidad) a uno de depresión motora (donde los organismos muestran movimientos más semejantes y escasos).

La figura revela la temporalidad de la respuesta conductual, donde la alta variabilidad inicial puede entenderse como una de las primeras evidencias de estrés, y la estabilización de la variabilidad como el componente de la disminución de la actividad. En este contexto, los resultados respaldan el uso del $CV\%$ como un biomarcador sensible para la detección de efectos subletales en organismos acuáticos.

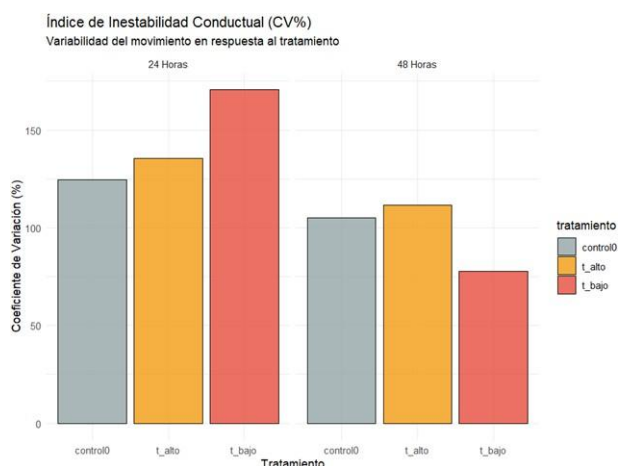


Figura 4. Índice de inestabilidad conductual expresado como coeficiente de variación ($CV\%$) en postlarvas de *L. vannamei*.

3.7 Análisis detallado de densidad y estructura conductual

3.7.1 Distribución y dispersión a las 24 horas

Tras 24 h de exposición, el análisis de densidad y de la distribución de frecuencias mostró diferencias descriptivas en la organización de la respuesta locomotora entre los grupos (Figura 5). El control mostró distribuciones más estrechas y distribuidas en desplazamientos más pequeños, en contraposición, los tratamientos testados mostraron curvas más amplias.

Los tratamientos expuestos a filtros solares mostraron distribuciones más amplias y dispersas, mostrando una respuesta no tan homogénea. En el tratamiento de 25 mg/L el tratamiento mostró la curva de densidad más ancha y notoria heterogeneidad entre los individuos.

Al mismo tiempo, el tratamiento a 25 mg/L mostró evidencias de picos secundarios en los rangos intermedios de desplazamiento (150-200 mm), pero indicio de una distribución multimodal en la población. En este caso, esta distribución refleja una fragmentación de la respuesta conductual en reiterados subgrupos, así como la existencia de distintos niveles de sensibilidad al contaminante. La existencia de estas subpoblaciones es la evidencia de una cierta pérdida de sincronización conductual, así como de la homeostasis grupal frente al estrés químico.

Por otro lado, el tratamiento a 300 mg/L arrojó muestras de una distribución más compacta que la del tratamiento a 25 mg/L, pero siempre mostrando una distribución más amplia que la presentó el grupo control. En este caso, la actividad locomotora se vio concentrada principalmente en rangos de desplazamiento moderados, con menor presencia de valores extremos, lo que indicaría que concentraciones más elevadas del contaminante podrían inducir una inhibición más temprana de la actividad locomotora, limitando la presencia de respuestas hiperactivas presentes en el tratamiento a 25 mg/L.

El ensanchamiento de las curvas de densidades de los tratamientos refleja la existencia de mayor variabilidad intraespecífica y de una respuesta de comportamiento menos predecible a la exposición al protector solar. Este tipo de comportamiento sería coherente con los valores altos del coeficiente de variación a las 24 horas, en particular en el tratamiento con menor concentración (CV = 171,3 %), lo que vuelve a corroborar que la variabilidad del comportamiento al movimiento puede ser un biomarcador sensible de estrés subletal.

Por otro lado, desde una perspectiva ecotoxicológica, la dispersión que observamos también puede indicar que las postlarvas deben haber modificado su tipo de movimiento ante la exposición. La existencia de individuos de alto vidrio y de bajo vidrio indica también que la respuesta no es uniforme y que por lo tanto es conveniente contar con la distribución total de los datos.

3.7.2 Desplazamiento de la densidad a las 48 horas

A las 48 h de exposición, el análisis de densidad mostró una modificación visible en la estructura de la respuesta locomotora de las postlarvas de *Litopenaeus vannamei* expuestas a filtros solares. En comparación con las 24 h, las curvas de los tratamientos se desplazaron hacia valores más bajos de desplazamiento.

Los histogramas de frecuencia mostraron una concentración predominante de organismos en el rango de 0 a 10 mm de desplazamiento, particularmente en el tratamiento de 300 mg/L. El comportamiento sugerido también indica que existe una tendencia a estados de

movimiento muy bajo, como, por ejemplo, inmovilidad parcial o letargo y el movimiento escaso que las caracteriza, los trayectos cortos y la existencia de períodos largos de reposo. La disminución de la amplitud de las distribuciones manifiesta la pérdida de la hiperactividad observada en las primeras veinticuatro horas y pone de manifiesto la transición hacia respuestas de depresión motora, secuelas del incremento del tiempo de exposición.

En el tratamiento de 25 mg/L, las mediciones aún determinan algunos individuos con desplazamientos moderados, pero la mayoría estuvo caracterizada por niveles de actividad locomotora muy reducidos, con una distribución más concentrada (menos dispersa) que la inicial, lo que sugiere una homogenización progresiva de la conducta dentro del grupo experimental, donde las respuestas individuales tienden a convergir en niveles bajos de movilidad, proceso que también iría acompañado de la reducción de la dispersión observada a las 48 horas que corresponde al espacio de tiempo en el que se determina una estabilización de la respuesta fisiológica de los individuos frente a la exposición temporal al estrés químico.

Por el contrario, el grupo control ofreció una distribución más amplia y equilibrada, con individuos distribuidos en diferentes rangos de desplazamiento y sin una acumulación predominante en valores cercanos a cero. Lo que nos permite concluir que las postlarvas no expuestas mantuvieron patrones locomotores más activos y más continuos, así como una organización conductual relativamente estable durante el desarrollo del ensayo.

El desplazamiento de las curvas de densidad hacia valores bajos puede interpretarse como un descenso en el desempeño locomotor de los animales en condiciones de ensayo, pero esta lectura debe ser cautelosa, porque el bioensayo no arrojó biomarcadores fisiológicos y no se realizó un análisis de la medición de los componentes presentes en el agua.

Asimismo, el cambio desde distribuciones amplias y heterogéneas hacia curvas más estrechas y concentradas muestra una variación temporal en la respuesta. En términos descriptivos, primero se observaron registros más dispersos y luego una mayor agrupación en distancias bajas, lo que coincide con la reducción general del movimiento.

3.8 Relación entre densidad y variabilidad (CV%)

La estructura de las curvas de densidad es consistente con los valores elevados de coeficiente de variación observados a las 24 horas. Las distribuciones extensas, junto a la existencia de valores extremos son indicativos de que los individuos no respondieron de forma homogénea, sino de una alta dispersión entre individuos.

Las curvas sugieren la probabilidad de ocurrencia de individuos bajo diferentes niveles de actividad, y se puede observar una información más amplia de las distribuciones a las 24h de los tratamientos y un desplazamiento hacia valores bajos de movimiento a las 48h.

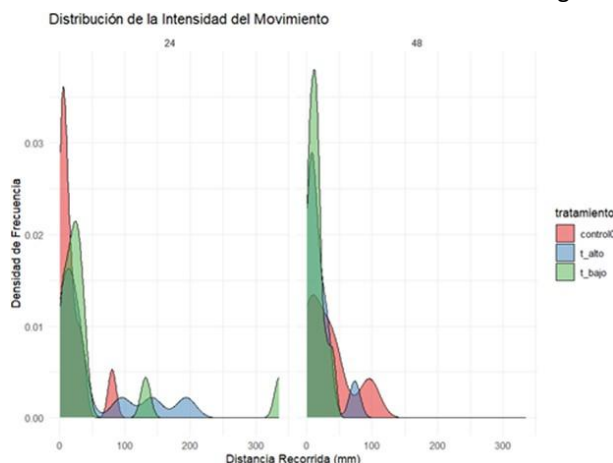


Figura 5. Distribución de densidad de la actividad locomotora (mm) en postlarvas de *L. vannamei*.

DISCUSIÓN

La comparación de las distancias medias no mostró diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos. No debemos responsabilizarse por el efecto de las concentraciones que hemos evaluado sobre el desplazamiento promedio. Los resultados descriptivos sugieren que la respuesta no fue uniforme: a las 24 h el tratamiento 25 mg/L elaboró el coeficiente de variación más elevado y la distancia estuvo más distribuida, y a las 48 h los grupos expuestos concentraron más registros en distancias bajas pero sin revelar el mismo grado de variabilidad que el grupo control. En estudios de ecotoxicología conductual, estos cambios en variabilidad pueden complementar, pero no sustituir, la prueba estadística sobre las medias (12, 14, 15, 16).

Los valores extremos y la dispersión observada a las 24 h indican que algunos organismos se desplazaron más que otros bajo la misma condición de exposición. Esta heterogeneidad puede relacionarse con diferencias individuales, con la manipulación o con la exposición al producto. Por esa razón, no es posible atribuir por sí sola la variabilidad a un mecanismo específico. Aun así, el uso de histogramas y densidad de Kernel permitió describir un aspecto de los datos que el promedio no muestra con claridad (23, 25, 26).

La reducción general del movimiento a las 48 h merece una interpretación prudente. Puede ser compatible con una menor actividad locomotora, pero el estudio no midió biomarcadores fisiológicos ni la concentración efectiva de los componentes del protector solar. Tampoco permite separar el efecto de los filtros UV del de otros ingredientes de la formulación. Por ello, los resultados deben leerse como una respuesta conductual observada bajo las condiciones del bioensayo y no como evidencia de un mecanismo neurológico, endocrino o metabólico determinado (8, 9, 10, 11).

La ausencia de una relación dosis-respuesta lineal en los datos descriptivos tampoco debe interpretarse como una prueba de una respuesta bifásica. La mayor dispersión a 25 mg/L

puede obedecer a una combinación de variación individual, tamaño de muestra y exposición al producto. Por ello, el patrón observado debe confirmarse con réplicas independientes y con análisis diseñados para evaluar simultáneamente concentración y tiempo de exposición (22, 23, 25).

El diseño tampoco permite estimar por sí mismo el riesgo ambiental. Las concentraciones fueron nominales y el estudio se realizó en condiciones controladas, mientras que en ambientes naturales intervienen dilución, corrientes, luz, mezcla con otros contaminantes y variaciones de temperatura y salinidad. Las diferencias no invalidan el bioensayo porque ésta no permite establecer la conclusión de que el producto trató de provocar alteraciones permanentes, pero la misma se torna en un límite a las mejores conclusiones y a mejoras para trabajos posteriores.

La percepción de que no hay diferencia estadística no indica que no recoja ningún efecto, pero tampoco permite establecer la conclusión de que el producto haya tratado de provocar alteraciones permanentes. El resultado debe ser interpretado dentro del marco de límites de nuestro diseño, el cual contextualizamos ante la alta variabilidad y el conveniente hecho de replicar el ensayo.

Desde una perspectiva ambiental, el comportamiento locomotor es relevante porque participa en la búsqueda de alimento, la evasión de depredadores y el uso del hábitat (12, 13, 18). Los hallazgos justifican continuar con ensayos que incorporen control fisicoquímico del agua, verificación analítica de las concentraciones, mayor tamaño de muestra y exposiciones más cercanas a escenarios ambientales. También sería útil integrar variables fisiológicas o bioquímicas para relacionar los cambios de comportamiento con otros indicadores de estrés (3, 7, 14).

CONCLUSIONES

A las condiciones de este bioensayo, las concentraciones de 25 y 300 mg/L de protector solar no provocan diferencias significativas en el desplazamiento medio de las postlarvas de *L. vannamei* a las 24 h ni a las 48 h.

El tratamiento de 25 mg/L presentó la mayor variabilidad a las 24 (CV = 171,3%), y los análisis de la distribución mostraron una respuesta más dispersa que la del grupo control. A las 48 h, los grupos expuestos presentaban una mayor concentración de registros en distancias bajas. Estos patrones descriptivos sugieren cambios conductuales que requieren confirmación en nuevos ensayos.

La distancia media, el coeficiente de variación, los histogramas y la densidad de Kernel aportaron información complementaria para describir la respuesta locomotora. Para establecer la importancia ecológica de los patrones observados se necesitan estudios con control fisicoquímico completo, análisis de los componentes presentes en el agua y mayor replicación.

Por todo lo dicho, los resultados deben valorarse como una evidencia exploratoria y no como una prueba de toxicidad específica. El valor del estudio radica en señalar que, aun cuando las medias no difieren significativamente, la forma de distribución de los datos puede ofrecer indicios útiles para determinar qué preguntas son las que necesitan ser analizadas en una siguiente etapa.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a Jorge Cedeño por su colaboración en la recolección de datos; al laboratorio Virgen del Cisne por la provisión de las postlarvas; y al laboratorio de la Universidad Laica Eloy Alfaro por facilitar los equipos e instrumentos utilizados. También se reconoce el apoyo de la Universidad Laica Eloy Alfaro, la Universidad Estatal de Milagro, los docentes y los tutores que acompañaron el proceso investigativo.

DECLARACIÓN DE INTERÉS

Los autores declaran que no existe ningún conflicto de interés relacionado con la publicación del presente artículo. Asimismo, no se recibió financiamiento externo que pudiera influir en los resultados obtenidos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Gago-Ferrero P, Díaz-Cruz MS, Barceló D. Occurrence of multiclass UV filters in aquatic environments. *Chemosphere*. 2015;120:578-585.
2. Tsui MMP, Leung HW, Wai TC, Yamashita N, Taniyasu S, Liu W, et al. Occurrence, distribution and ecological risk of UV filters. *Water Res*. 2014;67:55-65.
3. Sánchez-Quiles D, Tovar-Sánchez A. Are sunscreens a new environmental risk associated with coastal tourism? *Environ Int*. 2015;83:158-170.
4. Tovar-Sánchez A, Sánchez-Quiles D, Basterretxea G, Benedé JL, Chisvert A, Salvador A, et al. Sunscreen products as emerging pollutants to coastal waters. *PLoS One*. 2013;8(6):e65451.
5. Langford KH, Thomas KV. Inputs of chemicals from recreational activities into the coastal zone. *J Environ Monit*. 2008;10(7):894-898.
6. Fent K, Kunz PY, Zenker A, Rapp M. A tentative environmental risk assessment of UV filters. *Environ Toxicol Chem*. 2010;29(12):2597-2612.
7. Sharifan H, Ma X, Moore SK, Brownawell BJ. Occurrence and fate of ultraviolet filters in nearshore waters. *Environ Sci Technol*. 2016;50(6):2993-3003.
8. Hodge AA, Hopkins FE, Saha M, Jha AN. Ecotoxicological effects of sunscreen-derived UV filters on marine organisms: a review. *Mar Pollut Bull*. 2025;213:117627.
9. Coronado M, De Haro H, Deng X, Rempel MA, Lavado R, Schlenk D. Estrogenic activity and reproductive effects of oxybenzone in fish. *Aquat Toxicol*. 2008;90(3):182-187.

10. Kunz PY, Fent K. Multiple hormonal activities of UV filters in fish. *Aquat Toxicol.* 2006;79(4):305-324.
11. Kim S, Choi K. Occurrence, toxicity, and ecological risk of benzophenone-3 in aquatic environments. *Environ Int.* 2014;70:143-157.
12. Ribeiro F, Lopes I, Pereira R, Gonçalves F, Soares AMVM. Behavioral responses of aquatic organisms as indicators of environmental contamination. *Ecol Indic.* 2018;95:738-745.
13. Scott GR, Sloman KA. Effects of environmental pollutants on fish behaviour. *Environ Pollut.* 2004;129(2):179-190.
14. Hellou J. Behavioural ecotoxicology, an “early warning” signal to assess environmental quality. *Environ Sci Pollut Res.* 2011;18(1):1-11.
15. Ghalayini M, Hachicho N, Fritsch C, Schäffer A, Hollert H. Behavioral ecotoxicology: a new paradigm for assessing sublethal effects of emerging contaminants. *Sci Total Environ.* 2024;912:168845.
16. Marrone R, Cazenave J, Wunderlin DA. Behavioral variability as an indicator of sublethal stress in aquatic organisms exposed to environmental contaminants. *Ecotoxicology.* 2014;23(3):455-464.
17. Günel AÇ, Tunca SK, Arslan P, Gül G, Dinçel AS. Sublethal effects of permethrin on non-target aquatic organisms. *Environ Sci Pollut Res.* 2021;28:52405-52417.
18. Islam MS, Tanaka M, Yamashita Y. Effects of environmental stressors on aquatic organisms. *Environ Sci Pollut Res.* 2019;26(12):12025-12040.
19. Boyd CE. *Water quality: an introduction.* Cham: Springer; 2015.
20. Burbano-Gallardo E, Imués-Figueroa MA, Gonzalez-Legarda EA, Brito LO, Olivera Galvez A, Vinatea Arana LA. Supervivencia de poslarvas de *Litopenaeus vannamei* sometidas a la prueba de estrés osmótico y su relación con el estado de muda. *Rev Biol Mar Oceanogr.* 2015;50(2):323-330.
21. Malinowska V, Kuklina I, Grabicová K, Buřič M, Kozák P. Short-term effects of organic UV filters on crayfish locomotor activity. *Ecotoxicol Environ Saf.* 2023;259:115012.
22. Araújo CVM, Rodríguez-Romero A, Fernández M, Sparaventi E, Márquez-Medina M, Tovar-Sánchez A. Repellency and mortality effects of sunscreens on the shrimp *Palaemon varians*: toxicity dependent on exposure method. *Chemosphere.* 2020;257:127190.
23. Vignet C, Joassard L, Lyphout L, Guionnet T, Goubeau M, Le Menach K, et al. Non-monotonic behavioral responses to contaminants. *Environ Sci Pollut Res.* 2014;21(23):13818-13828.
24. Fent K, Weston AA, Caminada D. Ecotoxicology of human pharmaceuticals. *Aquat Toxicol.* 2006;76(2):122-159.
25. Zuur AF, Ieno EN, Elphick CS. A protocol for data exploration to avoid common statistical problems. *Methods Ecol Evol.* 2010;1(1):3-14.
26. Wickham H. *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis.* 2nd ed. New York: Springer; 2016.