

1 The Biologist (Lima), 2026, vol. 24 (1), XX-XX.

2 DOI: <https://doi.org/10.62430/rtb20262412171>

3 Este artículo es publicado por la revista The Biologist (Lima) de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemática, Universidad
4 Nacional Federico Villarreal, Lima, Perú. Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la licencia
5 Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0) [<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>] que
6 permite el uso, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada de su
7 fuente original.



8

9

ORIGINAL ARTICLE / ARTÍCULO ORIGINAL

10

SURVIVAL RESPONSE OF *HELIASTER HELIANTHUS* (LAMARCK, 1816) TO

11

SALINITY INCREASES ASSOCIATED WITH DESALINATION BRINE DISCHARGES

12

13

RESPUESTA DE SUPERVIVENCIA DE *HELIASTER HELIANTHUS* (LAMARCK, 1816)

14

ANTE INCREMENTOS DE SALINIDAD ASOCIADOS A DESCARGAS DE SALMUERA

15

DE DESALINIZACIÓN

16

17

Jorge Antonio Morales-Carazas¹, Manuel Aníbal Rodríguez-Salas¹, Nilton Alban-Caballero¹,

18

René Germán Sosa-Vilca¹ & George Argota-Pérez²

19

20

¹Universidad Nacional de Moquegua. Moquegua, Perú.

21

²Centro de Investigaciones Avanzadas y Formación Superior en Educación, Salud y Medio

22

Ambiente “AMTAWI”. Perú.

23

24

*Corresponding author: arolise79@hotmail.com

25

Running Head: Survival response of *Heliaster helianthus*

26

27

Nilton Alban Caballero:  <https://orcid.org/0000-0002-9566-9916>

28

Manuel Aníbal Rodríguez-Salas:  <https://orcid.org/0000-0003-1748-7997>


29

Jorge Antonio Morales Carazas:  <https://orcid.org/0000-0003-0150-1862>

30

René Germán Sosa Vilca:  <https://orcid.org/0000-0003-2248-3464>

31

George Argota Pérez:  <https://orcid.org/0000-0003-2560-6749>

32

33

34 **ABSTRACT**

35 The increase in desalination as a source of freshwater supply has intensified brine discharge
36 into coastal marine ecosystems, generating hypersaline conditions that may disrupt the
37 ecological stability of benthic communities. In this context, experimental evidence is required
38 to assess the sensitivity of key species to these physicochemical changes. The objective of the
39 study was to determine the survival response of *Heliaster helianthus* (Lamarck, 1816) to salinity
40 increases associated with desalination brine discharges. The research was experimental in
41 nature, with a quantitative approach and a completely randomized design. A total of 24
42 individuals collected along the Ilo coastline (Peru) were exposed to a control treatment (35.35
43 g·L⁻¹) and seven salinity concentrations (38.98-72.98 g·L⁻¹) for 24 hours under laboratory
44 conditions. The results showed a progressive decrease in survival as salinity increased. The
45 estimated LC₅₀ (Median Lethal concentration) was 37.17 g·L⁻¹, while LT₅₀ (Median lethal time)
46 ranged from 17.0 to 2.08 hours depending on the concentration. Treatments above 46.30 g·L⁻¹
47 caused total mortality in less than 4 hours. The Conesa matrix classified the impact as critical
48 (I = -86), indicating high ecological sensitivity. It is concluded that *H. helianthus* exhibits high
49 vulnerability to salinity increases, confirming its stenohaline nature and its potential as a
50 bioindicator of disturbances induced by brine discharges. These findings suggest that even
51 moderate salinity variations can compromise the survival of key species in coastal marine
52 ecosystems.

53 **Keywords:** brine – desalination – echinoderms – marine ecotoxicology

54

55 **RESUMEN**

56 El incremento de la desalinización como fuente de abastecimiento hídrico ha intensificado la
57 descarga de salmuera en ecosistemas marinos costeros, generando condiciones de
58 hipersalinidad que pueden alterar la estabilidad ecológica de comunidades bentónicas. En este
59 contexto, se requiere evidencia experimental que permita evaluar la sensibilidad de especies
60 clave frente a estos cambios fisicoquímicos. El objetivo del estudio fue determinar la respuesta
61 de supervivencia de *Heliaster helianthus* (Lamarck, 1816) ante incrementos de salinidad
62 asociados a descargas de salmuera de desalinización. La investigación fue de tipo experimental
63 con enfoque cuantitativo y diseño completamente aleatorizado. Se utilizaron 24 individuos
64 recolectados en el litoral de Ilo (Perú), expuestos a un tratamiento control (35,35 g·L⁻¹) y siete
65 concentraciones de salinidad (38,98-72,98 g·L⁻¹) durante 24 h bajo condiciones de laboratorio.
66 Los resultados evidenciaron una disminución progresiva de la supervivencia conforme aumentó
67 la salinidad. La CL₅₀ (Concentración letal media) estimada fue de 37,17 g·L⁻¹, mientras que el

68 TL₅₀ (Tiempo letal medio) varió entre 17,0 y 2,08 h dependiendo de la concentración. Los
69 tratamientos superiores a 46,30 g·L⁻¹ provocaron mortalidad total en menos de 4 h. La matriz
70 de Conesa clasificó el impacto como crítico (I = -86), evidenciando alta sensibilidad ecológica.
71 Se concluye que *H. helianthus* presenta una elevada vulnerabilidad a incrementos de salinidad,
72 confirmando su condición de especie estenohalina y su potencial como bioindicador de
73 alteraciones inducidas por descargas de salmuera. Estos hallazgos sugieren que incluso
74 variaciones moderadas de salinidad pueden comprometer la supervivencia de especies clave en
75 ecosistemas marino-costeros.

76 **Palabras clave:** desalinización – ecotoxicología marina – equinodermos – salmuera

77

78 INTRODUCCIÓN

79 El incremento de la demanda mundial de agua dulce, asociado al crecimiento poblacional, la
80 expansión urbana y los efectos del cambio climático, ha impulsado la adopción de tecnologías
81 de desalinización como una alternativa estratégica para garantizar la seguridad hídrica en
82 regiones costeras con estrés hídrico severo (Al-Saidi *et al.*, 2023; Zolghadr *et al.*, 2023).
83 Aunque esta tecnología contribuye al abastecimiento de agua potable, diversos estudios han
84 advertido que sus beneficios pueden estar acompañados de impactos ambientales significativos
85 sobre los ecosistemas marinos receptores (Panagopoulos & Haralambous, 2020; Gupta *et al.*,
86 2026).

87 Entre las principales preocupaciones ambientales destaca la descarga de salmuera residual, un
88 efluente caracterizado por elevadas concentraciones de sales y la presencia de compuestos
89 químicos empleados durante los procesos de tratamiento, tales como biocidas, antiincrustantes
90 y agentes de limpieza. Debido a su mayor densidad respecto al agua marina circundante, la
91 salmuera tiende a acumularse en las zonas bentónicas, generando condiciones de hipersalinidad
92 capaces de modificar la calidad ambiental y afectar la biodiversidad local (Panagopoulos &
93 Haralambous, 2020). Se ha documentado que estos vertimientos pueden alterar procesos
94 ecológicos fundamentales, reduciendo la supervivencia, el crecimiento y la productividad de
95 organismos marinos expuestos de forma prolongada o recurrente a incrementos de salinidad
96 (Fernández *et al.*, 2019; Gupta *et al.*, 2025).

97 La expansión global de la industria desalinizadora ha incrementado la necesidad de comprender
98 los efectos biológicos de estos efluentes. Actualmente, la gestión ambiental de las descargas de
99 salmuera constituye uno de los principales desafíos regulatorios para la sostenibilidad de esta
100 tecnología, debido a que los efectos ecológicos pueden manifestarse de manera localizada sobre
101 organismos bentónicos particularmente sensibles a las variaciones osmóticas (Al-Saidi *et al.*,

102 2023). Asimismo, se ha señalado la necesidad de incorporar indicadores biológicos específicos
103 para mejorar los procesos de evaluación y monitoreo ambiental asociados a plantas
104 desalinizadoras (de la Ossa *et al.*, 2016).

105 En el Perú, esta problemática adquiere especial relevancia a partir de la promulgación de la Ley
106 N.º 31863, que declara de necesidad pública e interés nacional la construcción de plantas
107 desalinizadoras de agua de mar en los departamentos de la costa peruana para contribuir al
108 cierre de la brecha de infraestructura hídrica y garantizar el acceso futuro al agua. En este
109 contexto, el proyecto Desaladora Ilo contempla la incorporación de una planta con capacidad
110 de producción de 452 L·s⁻¹ de agua desalinizada para fortalecer el abastecimiento de agua
111 potable en la provincia de Ilo, generándose como subproducto volúmenes significativos de
112 salmuera residual con potencial de descarga al ecosistema marino costero (PROINVERSIÓN,
113 2026). Frente a este escenario, resulta imprescindible generar información científica que
114 permita anticipar posibles efectos sobre especies ecológicamente relevantes y fortalecer los
115 instrumentos de gestión ambiental marina.

116 Los equinodermos constituyen uno de los grupos más sensibles a las alteraciones de salinidad
117 debido a su condición osmo-conformadora. La limitada capacidad de regulación osmótica de
118 estos organismos provoca que cambios relativamente pequeños en la concentración salina del
119 medio puedan afectar procesos fisiológicos esenciales relacionados con el equilibrio hídrico, la
120 actividad metabólica, la función celular, el comportamiento y la supervivencia (Castellano *et*
121 *al.*, 2016). Esta susceptibilidad convierte a los equinodermos en organismos particularmente
122 útiles para la evaluación de riesgos ecológicos asociados a alteraciones de la salinidad en
123 ecosistemas marinos costeros (Jobson *et al.*, 2021; Podbielski *et al.*, 2022).

124 Entre las especies más representativas del litoral rocoso del Pacífico suroriental se encuentra
125 *Heliaster helianthus* (Lamarck, 1816), conocida comúnmente como “sol de mar”. Esta especie
126 desempeña un papel ecológico fundamental como depredador clave dentro de las comunidades
127 intermareales, regulando la abundancia de numerosas especies y contribuyendo al
128 mantenimiento de la estructura y estabilidad de los ecosistemas bentónicos (Gaymer &
129 Himmelman, 2008). Investigaciones recientes continúan reconociendo su relevancia funcional
130 dentro de las redes tróficas costeras del Pacífico suroriental (Wilbur *et al.*, 2024).

131 A pesar de su relevancia ecológica, persisten importantes vacíos de conocimiento sobre la
132 respuesta de *H. helianthus* frente a condiciones de hipersalinidad inducidas por actividades
133 antrópicas. La mayoría de los estudios disponibles se han concentrado en aspectos relacionados
134 con su distribución geográfica, ecología trófica y dinámica poblacional, mientras que las
135 investigaciones experimentales sobre tolerancia fisiológica a incrementos extremos de salinidad

136 son escasas o inexistentes (Wilbur *et al.*, 2024). Esta limitación dificulta la predicción de
137 posibles impactos derivados de descargas de salmuera y restringe la incorporación de criterios
138 biológicos específicos en los procesos de evaluación ambiental de proyectos desalinizadores
139 (Gupta *et al.*, 2026).

140 En consecuencia, determinar la tolerancia de *H. helianthus* a incrementos de salinidad
141 representa un aporte relevante para comprender la vulnerabilidad de las comunidades
142 bentónicas frente a perturbaciones osmóticas de origen antropogénico. La generación de
143 evidencia experimental permitirá fortalecer las bases científicas necesarias para la gestión
144 sostenible de los ecosistemas marinos costeros sometidos a presiones crecientes asociadas a la
145 producción de agua desalinizada (Panagopoulos & Haralambous, 2020; Gupta *et al.*, 2026). Por
146 lo tanto, el objetivo de la presente investigación fue determinar la respuesta de supervivencia
147 de *H. helianthus* expuesta experimentalmente a diferentes niveles de salinidad mediante
148 ensayos agudos de laboratorio, con el propósito de identificar los límites críticos de viabilidad
149 biológica bajo condiciones de estrés osmótico y aportar información útil para la evaluación de
150 potenciales impactos ambientales derivados de descargas de salmuera en ecosistemas marinos
151 costeros.

152 El objetivo del estudio fue evaluar la respuesta de supervivencia de *H. helianthus* ante
153 incrementos de salinidad asociados a descargas de salmuera de desalinización.

154

155 **MATERIALES Y MÉTODOS**

156 La investigación fue de tipo experimental, con enfoque cuantitativo y alcance explicativo,
157 orientada a determinar el efecto de diferentes niveles de salinidad sobre la supervivencia de *H.*
158 *helianthus* bajo condiciones controladas de laboratorio. Se empleó un diseño completamente
159 aleatorizado con un grupo control y siete tratamientos experimentales de salinidad.

160 Los organismos fueron colectados en las playas El Diablo (251472 E; 8048040 N) y Montecarlo
161 (251314 E; 8049507 N), ubicadas en el litoral costero del puerto de Ilo, región Moquegua, Perú.

162 Los ensayos experimentales se realizaron en el Laboratorio de Calidad de Agua de la
163 Universidad Nacional de Moquegua, sede Ilo, durante septiembre de 2024.

164 La población estuvo constituida por los individuos de *H. helianthus* presentes en la zona
165 intermareal rocosa de las playas seleccionadas del puerto de Ilo. La muestra estuvo conformada
166 por 24 individuos adultos recolectados manualmente durante marea baja. La identificación
167 taxonómica de los especímenes se realizó mediante la evaluación de caracteres morfológicos
168 externos de acuerdo con los criterios descritos por Catalán *et al.* (2025). Posteriormente, los

169 organismos fueron transportados al laboratorio y sometidos a un período de aclimatación previo
170 al inicio de los ensayos.

171 La variable independiente fue la salinidad del agua marina, evaluada mediante un tratamiento
172 control (35,35 g·L⁻¹) y siete concentraciones experimentales comprendidas entre 38,98 y 72,98
173 g·L⁻¹, obtenidas mediante la adición de sal marina. La variable dependiente fue la supervivencia
174 de *H. helianthus*, determinada mediante un ensayo de toxicidad aguda con una duración de 24
175 h. Cada tratamiento estuvo constituido por tres organismos considerados como unidades
176 experimentales independientes.

177 La técnica empleada fue la observación directa y sistemática de los organismos expuestos. La
178 supervivencia fue registrada en intervalos periódicos (OECD, 2025). Un individuo fue
179 considerado muerto cuando presentó ausencia total de movimiento de los pies ambulacrales y
180 falta de respuesta ante estímulos mecánicos externos.

181 Asimismo, se determinaron la concentración letal media (CL₅₀) y el tiempo letal medio (TL₅₀)
182 mediante el método del punto medio, con la finalidad de identificar los niveles críticos de
183 salinidad y los tiempos de exposición asociados a una mortalidad del 50 % de los organismos
184 evaluados.

185 Para la valoración del impacto ambiental potencial asociado al incremento de la salinidad se
186 aplicó la matriz de Conesa, método cualitativo-numérico que permite estimar la importancia de
187 los impactos mediante criterios relacionados con intensidad, extensión, persistencia,
188 reversibilidad y recuperabilidad. La Matriz de Conesa, representa algoritmos de importancia
189 ambiental de un impacto (I) y se calcula mediante la fórmula:

190 - $I = \pm [3I + 2EX + MO + PE + PR + SI + AC + EF + RC + RV]$

191 Donde:

- 192 - I (Intensidad): grado de destrucción o cambio del factor ambiental
- 193 - EX (Extensión): área afectada
- 194 - MO (Momento): tiempo en que aparece el impacto
- 195 - PE (Persistencia): duración del impacto en el tiempo
- 196 - PR (Periodicidad): frecuencia del impacto
- 197 - SI (Sinergia): interacción con otros impactos
- 198 - AC (Acumulación): si el impacto se acumula o no
- 199 - EF (Efecto): relación causa–efecto directa o indirecta
- 200 - RC (Recuperabilidad): capacidad del sistema para recuperarse
- 201 - RV (Reversibilidad): posibilidad de volver al estado inicial

202 Nivel de impacto (NI):

203 - Menor a 25: Irrelevante o compatible

204 - Entre 25 y 50: Moderado

205 - Entre 50 y 75: Severo

206 - Superior a 75: Crítico

207 Los datos obtenidos fueron organizados en una base de datos y analizados mediante estadística
208 descriptiva. Se calcularon frecuencias absolutas, porcentajes de supervivencia y mortalidad
209 para cada nivel de salinidad evaluado. La relación entre la salinidad y la supervivencia de *H.*
210 *helianthus* se analizó mediante modelos de regresión dosis–respuesta, a partir de los cuales se
211 estimaron los valores de CL₅₀ y TL₅₀. Los resultados fueron representados mediante tablas y
212 gráficos para facilitar la interpretación de la respuesta biológica frente al estrés osmótico
213 inducido experimentalmente.

214 **Aspectos éticos:** El estudio se realizó bajo principios éticos aplicables a invertebrados marinos,
215 priorizando el bienestar de los organismos y la reducción del impacto sobre las poblaciones
216 naturales. Se aplicó el principio de reducción mediante el uso del menor número posible de
217 individuos por tratamiento. La manipulación, transporte y aclimatación de *H. helianthus* se
218 efectuaron en condiciones controladas, evitando procedimientos invasivos. La evaluación de la
219 mortalidad se realizó por observación externa sin métodos destructivos. El estudio se realizó
220 bajo principios éticos aplicables a la investigación con invertebrados marinos, considerando los
221 principios de reemplazo, reducción y refinamiento (3R). Asimismo, se incorporaron criterios
222 de transparencia metodológica compatibles con las recomendaciones de las directrices
223 ARRIVE 2.0 en los aspectos aplicables al diseño experimental, manejo de organismos y reporte
224 de resultados.

225

226 **RESULTADOS**

227 La Tabla 1 presenta las condiciones fisicoquímicas utilizadas durante los ensayos. La salinidad
228 experimental varió entre 35,35 y 72,98 g·L⁻¹. Conforme aumentó la concentración salina, la
229 conductividad eléctrica aumentó de 55,24 a 114,04 mS·cm⁻¹, lo que evidencia una relación
230 directamente proporcional entre ambas variables. El pH mostró una variación reducida entre
231 tratamientos, registrándose valores de 7,87 en el control y de 8,06 a 8,16 en los tratamientos
232 experimentales. La temperatura se mantuvo estable durante todo el período experimental, con
233 valores comprendidos entre 19 y 20 °C.

234

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos de los tratamientos experimentales.

Tratamiento	Salinidad ($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	Conductividad ($\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$)	pH	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)
Control	35,35	55,24	7,87	19–20
C1	38,98	60,90	8,06	19–20
C2	39,09	61,08	8,08	19–20
C3	41,01	64,08	8,13	19–20
C4	46,30	72,34	8,14	19–20
C5	55,10	86,10	8,16	19–20
C6	60,21	94,08	8,16	19–20
C7	72,98	114,04	8,16	19–20

236

237 La Tabla 2 muestra que la supervivencia de *H. helianthus* disminuyó conforme aumentaron la
 238 salinidad y el tiempo de exposición. El tratamiento control mantuvo una supervivencia del 100
 239 % durante las 24 h de evaluación. En los tratamientos C1 ($38,98 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$) y C2 ($39,09 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$), la
 240 supervivencia permaneció en 100 % hasta las 10 h, registrándose mortalidad total a las 24 h.
 241 En C3 ($41,01 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$), la supervivencia fue de 100 % hasta las 4 h y alcanzó la mortalidad total a
 242 las 10 h. Los tratamientos con salinidades iguales o superiores a $46,30 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ (C4-C7) mostraron
 243 la respuesta más severa, observándose supervivencia completa a los 10 minutos y mortalidad
 244 total antes de las 4 h de exposición.

245

246 **Tabla 2.** Supervivencia observada de *Heliaster helianthus* durante los ensayos
 247 experimentales.

Tiempo	Control	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
0 min	100	100	100	100	100	100	100	100
10 min	100	100	100	100	100	100	100	100
4 h	100	100	100	100	0	0	0	0
10 h	100	100	100	0	0	0	0	0
24 h	100	0	0	0	0	0	0	0

248

249 La Tabla 3 muestra que la concentración letal media (CL_{50}) estimada para 24 h de exposición
 250 fue de $37,17 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$. Este valor se ubicó entre la salinidad del tratamiento control ($35,35 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$) y
 251 la menor concentración experimental evaluada ($38,98 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$). El tiempo letal medio (TL_{50})
 252 mostró una reducción progresiva conforme aumentó la salinidad. En los tratamientos C1 y C2

253 se estimó un TL₅₀ de 17:0 horas, mientras que en C3 se redujo a 7:0 horas. Para las
 254 concentraciones comprendidas entre 46,30 y 72,98 g·L⁻¹ (C4-C7), el TL₅₀ alcanzó un valor de
 255 2,08 h.

256
 257 **Tabla 3.** Estimación de la CL₅₀ (concentración letal media) y TL₅₀ (tiempo letal medio) para
 258 *Heliaster helianthus*.
 259

Parámetro	Condición evaluada	Intervalo	Estimación
CL ₅₀	24 h	35,35–38,98 g·L ⁻¹	37,17 g·L ⁻¹
TL ₅₀	C1–C2	10–24 h	17:0 h
TL ₅₀	C3	4–10 h	7:0 h
TL ₅₀	C4–C7	10 min–4 h	2:08 h

260
 261 La aplicación de la matriz de Conesa (Tabla 4) permitió obtener un valor de importancia
 262 ambiental (I) de -86. De acuerdo con los criterios de clasificación del método: $I = -(3 \times 12) +$
 263 $(2 \times 8) + 4 + 4 + 4 + 2 + 4 + 4 + 4 + 8]$, dicho valor corresponde a un impacto negativo de
 264 categoría crítica. Los atributos con mayor ponderación fueron intensidad, extensión y
 265 recuperabilidad, asociados a la elevada mortalidad observada durante los ensayos de exposición
 266 a salinidad elevada.

267
 268 **Tabla 4.** Evaluación ambiental mediante la matriz de Conesa.

Parámetro	Valor
Importancia ambiental (I)	-86
Categoría del impacto	Crítico
Naturaleza	Negativa

269
 270 **DISCUSIÓN**

271 Los resultados evidencian que las condiciones fisicoquímicas del sistema experimental replican
 272 adecuadamente el rango natural del ambiente marino costero del litoral de Ilo, caracterizado
 273 por variaciones moderadas de salinidad, pH y temperatura asociadas a procesos de afloramiento
 274 propios del sistema de la Corriente de Humboldt. Esta estabilidad térmica observada en el
 275 ensayo concuerda con la naturaleza relativamente constante de la temperatura superficial del
 276 mar en sistemas de surgencia, lo que permite aislar el efecto de la salinidad como principal
 277 variable de estrés sobre los organismos evaluados (Zolghadr *et al.*, 2023; Wilbur *et al.*, 2024).

278 El incremento progresivo de la conductividad eléctrica en función de la salinidad confirma el
279 comportamiento iónico esperado en soluciones marinas concentradas, lo cual ha sido
280 ampliamente descrito en estudios fisicoquímicos del agua de mar y sistemas hipersalinos. Este
281 comportamiento es consistente con lo reportado por Fernández *et al.* (2019), quienes señalan
282 que la adición de sales incrementa linealmente la densidad iónica del medio, afectando su
283 capacidad de transporte eléctrico y, por tanto, su conductividad. En este sentido, la estabilidad
284 relativa del pH observada en los tratamientos experimentales sugiere la acción del sistema
285 tampón carbonato–bicarbonato del agua de mar, que regula las variaciones de acidez incluso
286 frente a incrementos significativos de salinidad (Panagopoulos & Haralambous, 2020).

287 En relación con la supervivencia de *H. helianthus*, los resultados evidencian una marcada
288 sensibilidad a incrementos relativamente pequeños de salinidad por encima del nivel de control.
289 Este patrón es coherente con lo descrito para equinodermos, organismos que presentan limitada
290 capacidad de osmorregulación activa y dependen de mecanismos celulares de ajuste osmótico,
291 los cuales pueden saturarse rápidamente ante condiciones hipersalinas (Castellano *et al.*, 2016;
292 Podbielski *et al.*, 2022). La transición abrupta observada entre supervivencia total y mortalidad
293 completa en cortos intervalos de tiempo sugiere la superación de los umbrales fisiológicos de
294 tolerancia osmótica, lo que coincide con el concepto de especies estenohalinas descrito para
295 invertebrados marinos sensibles a variaciones salinas (Jobson *et al.*, 2021).

296 La estimación de la CL₅₀ en 37,17 g·L⁻¹ refuerza la alta vulnerabilidad del organismo frente a
297 incrementos de salinidad de baja magnitud relativa respecto al agua de mar natural. Este
298 comportamiento es consistente con estudios que señalan que incluso variaciones moderadas en
299 la salinidad pueden inducir fallas en los mecanismos de transporte iónico celular en
300 equinodermos, comprometiendo procesos metabólicos esenciales (Castellano *et al.*, 2016).
301 Asimismo, la reducción progresiva del TL₅₀ conforme aumenta la salinidad evidencia una
302 relación dosis–respuesta típica en ensayos ecotoxicológicos agudos, como los recomendados
303 en guías internacionales para la evaluación de toxicidad en organismos acuáticos (OECD,
304 2025).

305 Desde una perspectiva ecológica, estos resultados adquieren relevancia considerando el
306 creciente desarrollo de infraestructura de desalinización en zonas costeras. En el caso del Perú,
307 la implementación de la planta desalinizadora de Ilo, enmarcada en la Ley N.º 31863, plantea
308 la descarga de salmuera con potencial de alterar significativamente las condiciones
309 fisicoquímicas del ecosistema marino receptor (MEF, 2023; PROINVERSIÓN, 2026).
310 Diversos estudios han advertido que los efluentes de desalinización pueden generar gradientes

311 hipersalinos localizados con efectos negativos sobre comunidades bentónicas y organismos
312 sensibles (Al-Saidi *et al.*, 2023; Gupta *et al.*, 2026).

313 En este contexto, la alta sensibilidad observada en *H. helianthus* es consistente con su rol
314 ecológico como especie estructuradora de comunidades intermareales, lo cual ha sido
315 ampliamente documentado para equinodermos depredadores en el Pacífico suroriental (Gaymer
316 & Himmelman, 2008; Catalán *et al.*, 2025). La alteración de su supervivencia podría generar
317 efectos en cascada sobre la estructura trófica del ecosistema, afectando indirectamente la
318 estabilidad de las comunidades bentónicas.

319 Finalmente, la evaluación mediante la matriz de Conesa indica un impacto ambiental de
320 categoría crítica ($I = -86$), lo que refleja la elevada sensibilidad del sistema biológico frente a
321 incrementos de salinidad. Este resultado es coherente con la evidencia de que los impactos
322 asociados a descargas de salmuera presentan alta persistencia y baja recuperabilidad ecológica
323 en ambientes costeros cerrados o semiabiertos (de la Ossa *et al.*, 2016; Fernández *et al.*, 2019).
324 Asimismo, la baja capacidad de regulación osmótica documentada en equinodermos refuerza
325 la interpretación de alta vulnerabilidad ecológica del sistema evaluado (Podbielski *et al.*, 2022).
326 En conjunto, los resultados obtenidos evidencian que incrementos relativamente moderados de
327 salinidad pueden generar efectos letales en *H. helianthus*, lo que sugiere que este organismo
328 puede ser considerado un bioindicador sensible para la evaluación de impactos asociados a
329 descargas de salmuera en ecosistemas marino-costeros del Pacífico suroriental.

330 El presente estudio presenta algunas limitaciones inherentes al diseño experimental,
331 principalmente relacionadas con el tamaño muestral por tratamiento, lo cual responde a criterios
332 de reducción ética en el uso de organismos marinos sin comprometer la consistencia del diseño.
333 Asimismo, al haberse desarrollado en condiciones de laboratorio, los resultados representan
334 una aproximación controlada que permite aislar el efecto de la salinidad, aunque no incorpora
335 la complejidad total del ambiente marino natural. Finalmente, el enfoque de exposición aguda
336 de 24 horas permite identificar umbrales de respuesta fisiológica inmediata, constituyendo una
337 base sólida para futuras investigaciones de carácter crónico o ecológico.

338 Se concluye que *H. helianthus* mostró alta sensibilidad a incrementos de salinidad, con una
339 CL_{50} de $37,17 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ y una disminución progresiva del TL_{50} conforme aumentó la concentración
340 salina. La supervivencia se redujo abruptamente a partir de $41,01 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$, evidenciando umbrales
341 fisiológicos críticos frente al estrés osmótico. Las condiciones fisicoquímicas confirmaron que
342 la salinidad fue la principal variable de respuesta biológica. La matriz de Conesa clasificó el
343 impacto como crítico ($I = -86$), indicando alta vulnerabilidad ecológica. En conjunto, la especie

344 puede considerarse un potencial bioindicador sensible frente a incrementos de salinidad en
345 ecosistemas marino-costeros afectados por descargas de salmuera.

346

347 **Author contribution: CRediT (*Contributor Roles Taxonomy*)**

348

349 **JAMC** = Jorge Antonio Morales-Carazas

350 **MARS** = Manuel Aníbal Rodríguez-Salas

351 **NAC** = Nilton Alban-Caballero

352 **RGSV** = René Germán Sosa-Vilca

353 **GAP** = George Argota-Pérez

354

355 **Conceptualization:** JAMC, MARS, NACV, RGSV

356 **Data curation:** JAMC, MARS, NACV, RGSV

357 **Formal Analysis:** MARS, RGSV

358 **Funding acquisition:** JAMC, MARS, NACV, RGSV

359 **Investigation:** JAMC, MARS, NACV, RGSV

360 **Methodology:** JAMC, MARS, NACV, RGSV

361 **Project administration:** MARS

362 **Resources:** JAMC, MARS, NACV, RGSV

363 **Software:** JAMC, MARS, NACV, RGSV

364 **Supervision:** MARS

365 **Validation:** JAMC, MARS, NACV

366 **Visualization:** JAMC, MARS, NACV

367 **Writing – original draft:** MARS, RGSV

368 **Writing – review & editing:** GAP

369

370

371 **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- 372 Agencia de Promoción de la Inversión Privada: PROINVERSIÓN. (2026). *Proyecto*
373 *desaladora Ilo para garantizar agua potable sostenible en Moquegua. Plataforma*
374 *Digital Única del Estado Peruano.*
- 375 Al-Saidi, M., Saadaoui, I., & Ben-Hamadou, R. (2023). Governing desalination, managing the
376 brine: A review and systematization of regulatory and socio-technical issues. *Water*
377 *Resources and Industry*, 30, 100225.
- 378 Castellano, G. C., Souza, M. M., & Freire, C. A. (2016). Volume regulation of intestinal cells
379 of echinoderms: Putative role of ion transporters (Na⁺/K⁺-ATPase and NKCC).
380 *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*,
381 201, 124–131.
- 382 Catalán, J., Ibáñez, C. M., Carrasco, S. A., Sellanes, J., Díaz, A., & Pardo, G. M. C. (2025).
383 Systematic evaluation of sea stars of the genus *Heliaster* from the southeastern Pacific
384 and redescription of *Heliaster helianthus*. *Taxonomy*, 5, 59.
- 385 de la Ossa, C. J. A., Del Pilar, R. Y., Loya, F. A., Ferrero, V., L. M., Marco, M. C., Martínez,
386 G. E., Giménez, C. F., & Sánchez, L. J. L. (2016). Bioindicators as metrics for
387 environmental monitoring of desalination plant discharges. *Marine Pollution Bulletin*,
388 103, 313–318.
- 389 Fernández, T. Y., Carratalá, A., & Sánchez, L. J. L. (2019). Impact of brine on the marine
390 environment and how it can be reduced. *Desalination and Water Treatment*, 167, 27–37.
- 391 Gaymer, C. F., & Himmelman, J. H. (2008). A keystone predatory sea star in the intertidal zone
392 is controlled by a higher-order predatory sea star in the subtidal zone. *Marine Ecology*
393 *Progress Series*, 370, 143–153.
- 394 Gupta, P., Arciniegas, P. M. D., & Barrios, P. H. A. (2026). Impact of brine discharge from
395 desalination plants on marine ecosystems: A review. *Current Opinion in Environmental*
396 *Science & Health*, 49, 100693.
- 397 Jobson, S., Hamel, J. F., Hughes, T., & Mercier, A. (2021). Cellular, hormonal, and behavioral
398 responses of the holothuroid *Cucumaria frondosa* to environmental stressors. *Frontiers*
399 *in Marine Science*, 8, 695753.
- 400 Ministerio de Economía y Finanzas. MEF. (2023). *Ley N.º 31863, Ley que declara de necesidad*
401 *pública e interés nacional la emergencia hídrica y la implementación de infraestructura*
402 *para el abastecimiento de agua en la provincia de Ilo.* Diario Oficial El Peruano.

403 Organisation for Economic Co-operation and Development: OECD. (2025). *Test No. 203: Fish,*
404 *Acute Toxicity Test.* OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Section 2. OECD
405 Publishing.

406 Panagopoulos, A., & Haralambous, K. J. (2020). Environmental impacts of desalination and
407 brine treatment: Challenges and mitigation measures. *Marine Pollution Bulletin, 161,*
408 111773.

409 Podbielski, I., Hiebenthal, C., Hajati, M. C., Bock, C., Bleich, M., & Melzner, F. (2022).
410 Capacity for cellular osmoregulation defines critical salinity of marine invertebrates at
411 low salinity. *Frontiers in Marine Science, 9,* 898364.

412 Wilbur, L., Louca, V., Ibanez-Erquiaga, B., & Küpper, F. C. (2024). A case for trans-regional
413 intertidal research in unstudied areas in the northeast and southeast Pacific: Filling the
414 gaps. *Coasts, 4,* 323–346.

415 Zolghadr, A. B., McIntyre, N., Djordjevic, S., Farmani, R., Pagliero, L., Martínez, A. V., &
416 Maestre, V. J. F. (2023). A review of limitations and potentials of desalination as a
417 sustainable source of water. *Environmental Science and Pollution Research, 30,* 118161–
418 118174.

419 Received May 2, 2026.

420 Accepted June 22, 2026.

421

422

423

424

425

426