

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERIA HIDRÁULICA
XXVII CONGRESO CHILENO DE INGENIERIA HIDRÁULICA

**NUEVA METODOLOGÍA PARA ANALIZAR EL MOVIMIENTOS DE LARVAS DE LAS
ESPECIES CONCHOLEPAS CONCHOLEPAS Y LOXECHINUS ALBUS EXPUESTAS A
DISTINTOS NIVELES DE SALINIDAD**

JORGE PÉREZ S.¹
CARLOS CORTÉS S.²
PATRICIO WINCKLER G.³
CRISTIAN ESCAURIAZA M.⁴
CRISTIÁN DUARTE V.⁵

RESUMEN

La descarga de salmueras hipersalinas provenientes de plantas desaladoras representa un riesgo emergente para los ecosistemas marinos, afectando el desarrollo de organismos bentónicos en etapas tempranas. En este estudio se evalúa el efecto de diferentes niveles de salinidad sobre la movilidad de larvas de *Concholepas concholepas* y *Loxechinus albus*, mediante una metodología híbrida que considera el análisis de trayectorias a partir de videos y un modelo lagrangiano de deriva de larvas, basado en coeficientes obtenidos primero. Las larvas son expuestas durante seis horas a condiciones de salinidad elevadas, seguidas por un periodo de recuperación de doce horas en condiciones normales (35 PSU). A partir de registros en video, se obtienen series temporales de posición, velocidad y aceleración mediante el software de código abierto Tracker y se determinan métricas cinemáticas de desplazamiento, velocidad, curvatura, y un índice de desplazamiento que permiten clasificar el tipo de movimiento. Además, se desarrollan modelos estocásticos tipo Ornstein-Uhlenbeck para evaluar la dependencia temporal de las trayectorias en función de la salinidad y generar series sintéticas representativas. Los resultados evidencian alteraciones en el comportamiento larval ante salinidades elevadas y destacan la utilidad de la metodología propuesta para estudios de impacto ambiental en organismos marinos. Este enfoque ofrece una herramienta complementaria para el análisis de respuestas biológicas frente a estresores ambientales.

¹ Asistente de Investigación, LabOceano, Universidad de Valparaíso – email: jorge.perez.silva@alumnos.uach.cl

² Asistente de Investigación, LabOceano, Universidad de Valparaíso – email: carlos.cortess@sansano.usm.cl

³ Profesor Titular, Escuela de Ingeniería Oceánica, Universidad de Valparaíso, Investigador CIGIDEN y COSTAR – email: patricio.winckler@uv.cl

⁴ Profesor Asociado, Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental. Pontificia Universidad Católica de Chile - cescauri@uc.cl

⁵ Profesor Titular, Facultad de Ciencias de la Vida, Universidad Andrés Bello – email: cristianduarte@unab.cl

1 INTRODUCCIÓN

La desalinización se ha consolidado como una fuente alternativa y confiable de agua dulce a nivel nacional (Vicuña et al., 2022). No obstante, uno de los principales desafíos ambientales asociados a esta tecnología es la generación y vertido de salmueras hipersalinas, cuyos efectos sobre los ecosistemas marinos, particularmente sobre las comunidades bentónicas y microbianas, han sido ampliamente documentados. Diversos estudios han demostrado que la exposición prolongada a condiciones de alta salinidad puede alterar significativamente la estructura y funcionalidad de los organismos bentónicos. Entre los efectos observados se encuentran el incremento en el tiempo de enterramiento de bivalvos (Manríquez P., et al., 2024), la reducción en la abundancia y diversidad de anfípodos (de-la-Ossa-Carretero, et al., 2016) y la pérdida de riqueza y diversidad de poliquetos (Del-Pilar-Ruso, et al., 2015), una sustitución de comunidades bentónicas por otras dominadas por nematodos (Del-Pilar-Ruso, et al., 2007), la disminución de hasta un 60% en la abundancia de bacterias heterotróficas bajo condiciones de salinidad elevadas (Frank et al., 2017, 2019) y la alteración en la abundancia de equinodermos (Sugni et al., 2007), comprometiendo el metabolismo, la supervivencia y el desarrollo de larvas marinas (Lopez-Ortiz & Sánchez, 2009). Estos impactos se ven además intensificados por estresores ambientales relacionados con el cambio climático, como el aumento de la temperatura y la acidificación del océano, los cuales también alteran el desarrollo larval de múltiples especies marinas (Byrne et al., 2010; Manríquez et al., 2013). La combinación de estos factores podría comprometer gravemente la estabilidad de las poblaciones marinas y, por ende, el equilibrio ecológico y la provisión de servicios ecosistémicos clave en zonas costeras.

Debido a lo anterior, en el marco del Proyecto ANID IDEA ID23I10336, larvas de locos (*Concholepas concholepas*) y erizos (*Loxechinus albus*) fueron expuestas a distintos niveles de salinidad durante un periodo de 6 horas, y luego puestas en recuperación a un nivel de salinidad normal (35 PSU) durante 12 horas, con la finalidad de registrar la respuesta y capacidad de recuperación de los individuos. Luego de ambos tratamientos se registró la respuesta de las larvas mediante videos. Estudios previos han abordado la evaluación del impacto de distintas concentraciones de salmuera sobre organismos marinos a través de métricas comportamentales simples y observaciones fisiológicas. En el estudio realizado por Manríquez et al. (2024a), se realizó el mismo tratamiento de exposición y recuperación sobre larvas de , y se estimó su capacidad natatoria mediante registros de video, en los que se utilizó el tiempo en que las larvas demoraron en salir del campo de visión de la cámara como proxy de la velocidad de nado. Estas aproximaciones, aunque efectivas para identificar respuestas, presentan limitaciones en la resolución temporal y espacial de los movimientos.

En este estudio se propone una nueva metodología basada en el seguimiento de trayectorias utilizando el software de código *Tracker* (Brown et al., 2024) de seguimiento digital para cuantificar la movilidad larval con mayor precisión, permitiendo extraer parámetros cinemáticos como desplazamiento, velocidad y curvatura, y desarrollar modelos estocásticos que capturan la dependencia temporal del comportamiento. Esta integración de técnicas computacionales permite no solo una evaluación más detallada del efecto del estresor, sino también la simulación de trayectorias sintéticas bajo distintos escenarios ambientales, ampliando las posibilidades de análisis y predicción del impacto ecológico.

2 METODOLOGÍA

La metodología considera a) la ejecución de bioensayos para evaluar el efecto de diferentes niveles de salinidad sobre la movilidad de larvas de locos (*Concholepas concholepas*) y erizos (*Loxechinus albus*) mediante b) una metodología híbrida que considera el análisis de trayectorias a partir de videos y c) un modelo lagrangiano de deriva de larvas, basado en coeficientes obtenidos del análisis de los bioensayos. El detalle de estas tres etapas se describe a continuación.

2.1 Bioensayos

Los bioensayos se realizaron en el Laboratorio de Biología Marina de Centro de Investigación Marina de la UNAB (<https://cimarq.unab.cl/>). Larvas de locos y erizos (Figura 1a-d) fueron expuestas a distintos niveles de salinidad durante un periodo de 6 horas en pocillos plásticos (Figura 1e), y luego puestas en recuperación a un nivel de salinidad normal (35 PSU) durante 12 horas, con la finalidad de registrar la respuesta y capacidad de recuperación de los individuos. Las placas son mantenidas en un baño con temperatura controlada.

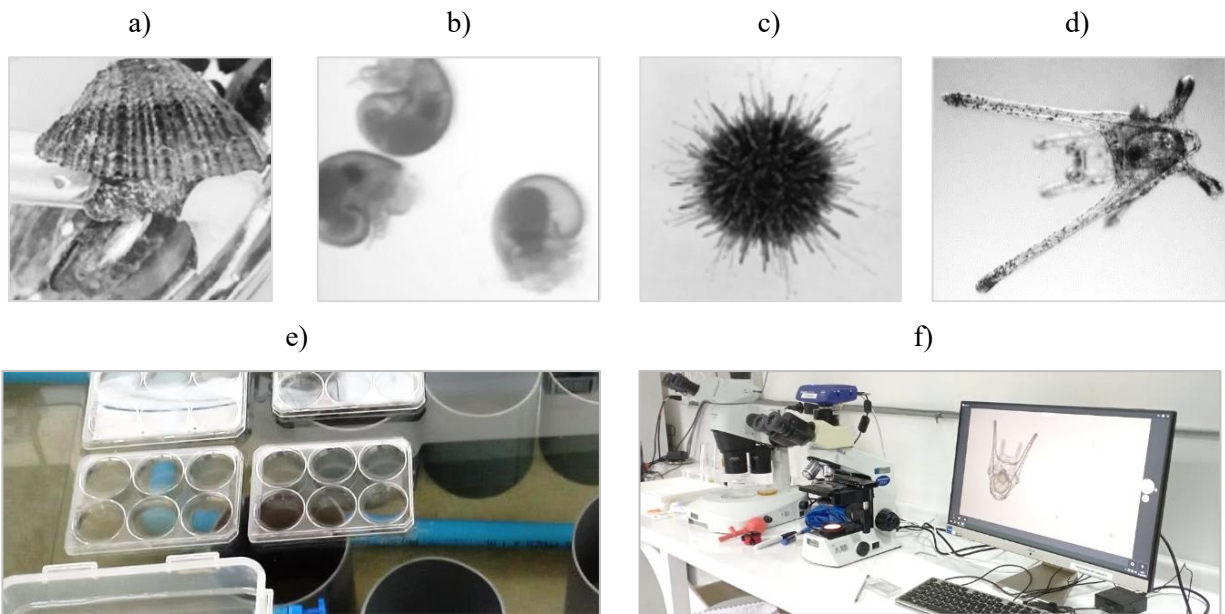


Figura 1. Ejemplares adultos y larvas de loco (a,b) y erizo (c,d). e) Pocillos plásticos donde las larvas fueron expuestas a las diferentes salinidades y luego mantenidas durante el período de recuperación. f) Registro del movimiento de larva de erizo mediante un microscopio digital.

El agua de descarte fue obtenida de las plantas desaladoras de Quintay y La Ligua, en la Región de Valparaíso con salinidades menores y superiores al medio marino (35 PSU), respectivamente. Del pool de larvas de cada especie (6 réplicas de 10 larvas c/u), se asignaron distintos niveles de salinidad. Las larvas fueron puestas en pocillos plásticos de 10 ml y mantenidas a 15°C en un baño con temperatura controlada. La temperatura experimental se seleccionó de acuerdo a la temperatura del mar donde las larvas fueron mantenidas. Luego, las larvas fueron sometidas a una exposición aguda por 6 h a las distintas salinidades y posteriormente mantenidas en agua control (35 PSU) por 12 h, para evaluar su recuperación. Luego de ambos tratamientos, se extrajeron larvas individuales

y se filmaron mediante un microscopio en el laboratorio (Figura 1f), cuyos videos fueron post procesados mediante el software Tracker (Figura 2a) para obtener series de tiempo con la posición y velocidad y así calcular diferentes métricas de movimiento. La Tabla 1 contiene un resumen con la cantidad de bioensayos realizados por especie y tratamiento.

Tabla 1. Bioensayos realizados.

| Especie | Estado | Salinidad PSU | | | | | | | | | | Cantidad de videos | | |
|-------------------------|--------------|---------------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|--------------------|-------------|-------|
| | | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | Analizados | Descartados | Total |
| Concholepas concholepas | Exposición | | • | • | • | • | • | • | • | • | • | 60 | 6 | 66 |
| | Recuperación | | • | • | • | • | • | • | • | • | • | 79 | 5 | 84 |
| Loxechinus albus | Exposición | • | • | • | • | • | • | • | • | | | 74 | 10 | 84 |
| | Recuperación | • | • | • | • | • | • | • | • | | | 76 | 14 | 90 |
| Total | | | | | | | | | | | 289 | 35 | 324 | |
| Total (%) | | | | | | | | | | | 89% | 11% | 100% | |

2.2 Métricas de movimiento

Se definieron diferentes parámetros considerando el desplazamiento, velocidad y curvatura de las larvas con el objetivo de evaluar su pertinencia para caracterizar el movimiento de ambas especies, evaluados a nivel local (en cada punto de su trayectoria) y también a nivel integrado (promedio). Las métricas integradas se compararon posteriormente a fin de identificar patrones de movimiento. El **desplazamiento local** entre posiciones sucesivas (Figura 2b) se obtuvo aplicando el teorema de Pitágoras mediante la expresión

$$d_i = \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2}, \quad (1)$$

en tanto que el **desplazamiento total** se calculó mediante la expresión

$$d_T = \sum_{i=1}^N d_i, \quad (2)$$

donde N denota la posición final. También se calculó la **distancia entre la posición inicial y final** de la larva mediante la expresión

$$T = \sqrt{(x_N - x_1)^2 + (y_N - y_1)^2}. \quad (3)$$

El tipo de desplazamiento se evaluó mediante el **índice de desplazamiento**

$$D_R = T/d_T, \quad (4)$$

donde $D_R = 1$ representa una trayectoria recta y $D_R < 1$ representa trayectorias con curvatura no nula. Mientras el índice es menor, más curvatura tiene la trayectoria, según se ilustra en la Figura 2b,c). Se introdujo también una clasificación del movimiento de acuerdo con la Tabla 2.

Tabla 2. Clasificación del movimiento en función del índice de desplazamiento.

| Valor de D_R | Tipo de movimiento |
|---------------------|------------------------|
| $\geq 0,66$ | Traslacional dominante |
| $0,33 < D_R < 0,66$ | Mixto |
| $\leq 0,33$ | Curvo dominante |

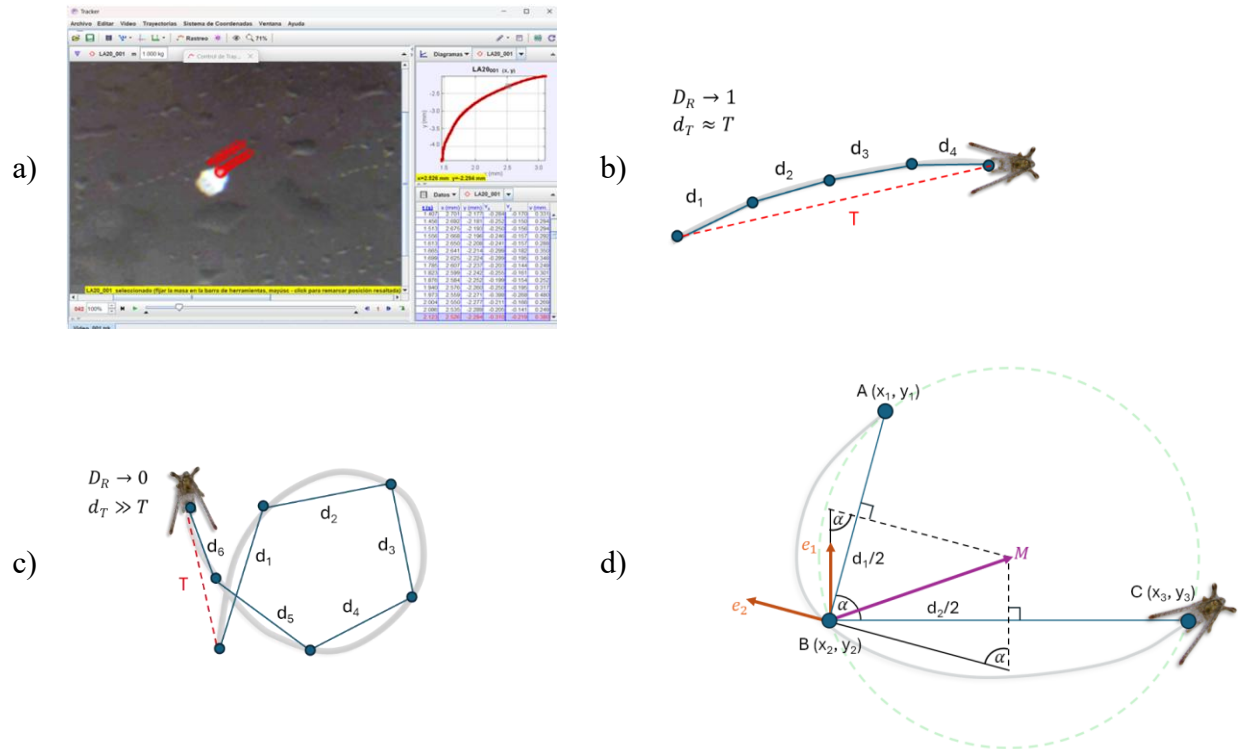


Figura 2. a) Procesamiento por software Tracker para la caracterización del movimiento larval. El fotograma muestra la identificación y seguimiento de la larva en marcas rojas. El gráfico derecho muestra la trayectoria de la larva en línea roja y la tabla muestra los datos obtenidos de cada fotograma. b) Trayectoria continua (gris) y discreta (azul) a partir de posiciones discretas, con desplazamiento aproximadamente lineal ($D_R \rightarrow 1$) y c) aproximadamente curvo ($D_R \rightarrow 0$). d) Procedimiento de cálculo de la curvatura entre tres puntos A, B y C.

El software Tracker proporcionó datos de velocidad entre fotogramas individuales, a partir de los cuales se calculó la **velocidad local** mediante la expresión

$$v_i = d_i / \Delta t \quad (5)$$

donde el tiempo entre dos fotogramas sucesivos (Δt) es constante. La **velocidad media** se calculó como la media de las velocidades locales (v_i) mediante la expresión

$$\bar{U} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N v_i \quad (6)$$

La **curvatura** representa la tendencia de la trayectoria a curvarse en el espacio tridimensional (Figura 2d). La **curvatura media** se calculó como la media aritmética de las curvaturas locales siguiendo el procedimiento propuesto por Mjaavatten (2020)

$$\bar{k} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N k_i \quad (7)$$

donde k_i corresponde a cada curvatura y N al número total de intervalos. También se calculó la curvatura mediana (\tilde{k}), que es menos sensible a valores extremos ocasionados por posibles vibraciones del video, aplicada a las curvaturas ordenadas en orden creciente (o decreciente).

$$\tilde{k} = \begin{cases} k_{(N+1)/2} & N \text{ impar} \\ (k_{N/2} + k_{(N/2)+1})/2 & N \text{ par} \end{cases} \quad (8)$$

2.3 Modelación estocástica

Las trayectorias observadas se analizaron mediante el ajuste de ecuaciones diferenciales estocásticas. Este enfoque permite analizar las propiedades estadísticas del desplazamiento, identificar posibles patrones de dependencia temporal en función de las condiciones ambientales como la salinidad, y desarrollar modelos capaces de generar series sintéticas representativas. Las velocidades y ángulos instantáneos de las larvas se calcularon mediante las expresiones

$$v(t) = \Delta y / \Delta x, \quad \theta(t) = \arctan(\Delta y / \Delta x). \quad (9)$$

Estas variables dinámicas se pueden representar por modelos lineales del tipo:

$$dv = \gamma_v v' dt + \sigma_v dW_v, \quad d\theta = \gamma_\theta \theta' dt + \sigma_\theta dW_\theta \quad (10)$$

Las ecuaciones diferenciales estocásticas lineales derivadas para las variaciones sobre el promedio θ' y v' , que se conocen también como modelos de Ornstein-Uhlenbeck, están forzados por procesos aleatorios de Wiener o ruido blanco dW (Méndez, 2016). Los parámetros γ y σ en cada modelo reflejan la contribución relativa de los distintos términos. El coeficiente del término lineal representa el grado de dependencia temporal de la serie, mientras que el parámetro asociado a la magnitud del ruido cuantifica el nivel de aleatoriedad presente en los datos.

3 RESULTADOS

3.1 Métricas de movimiento

Para facilitar la comparación entre experimentos, las trayectorias de las larvas se centraron en el origen (0,0). Luego se procedió a agrupar las trayectorias en función del índice de desplazamiento por especie (Figura 3), confirmando que para $D_R \leq 0.33$ el movimiento tiende a ser curvo, para $D_R > 0.66$ tiende a ser traslacional y para $0.33 < D_R \leq 0.66$ tiende a ser mixto.

Confirmada la utilidad de D_R como descriptor del tipo de desplazamiento, se procedió a agrupar y analizar las trayectorias obtenidas a través de las series de tiempo de posición, según los distintos niveles de salinidad utilizados en los tratamientos de exposición y recuperación, como se ilustra en la Figura 4, para los experimentos de larvas de erizo sometidos a una salinidad de 20 PSU durante la exposición 35 PSU durante la recuperación posterior. A partir del análisis de todos los experimentos, se calcularon la velocidad \bar{U} y curvatura \tilde{k} y se agruparon por nivel de salinidad y se graficaron por tratamiento, a objeto de visualizar el efecto de cada salinidad sobre los individuos. Las Figura 5 y Figura 6 muestran, a modo de ejemplo, resultados estadísticos de velocidad y curvatura para larvas de erizo expuestas a niveles inferiores de salinidad que los del medio marino, respectivamente.

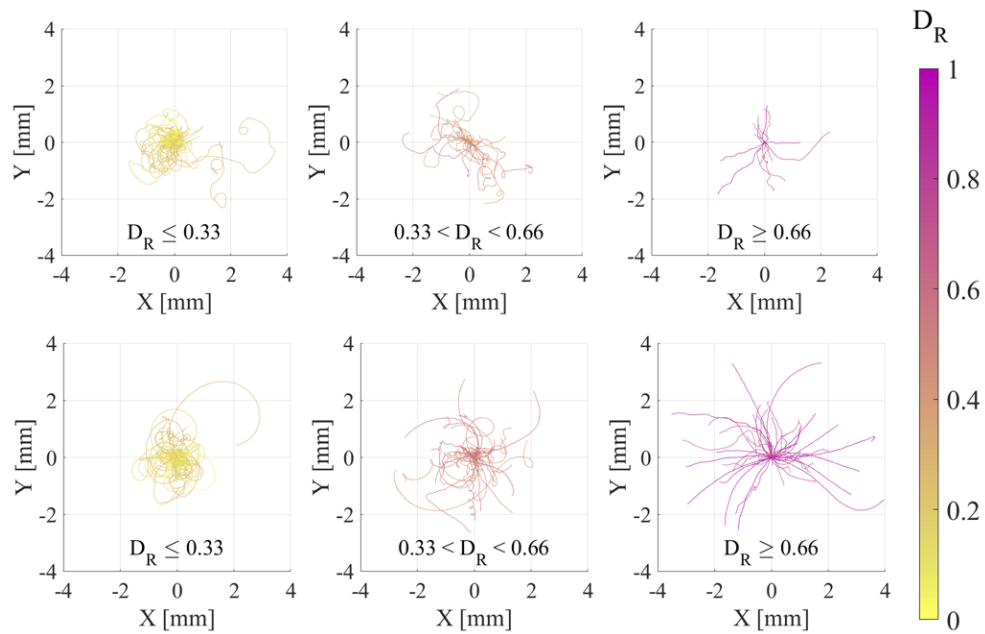


Figura 3. Trayectorias separadas por D_R para locos (superior) y erizos (inferior).

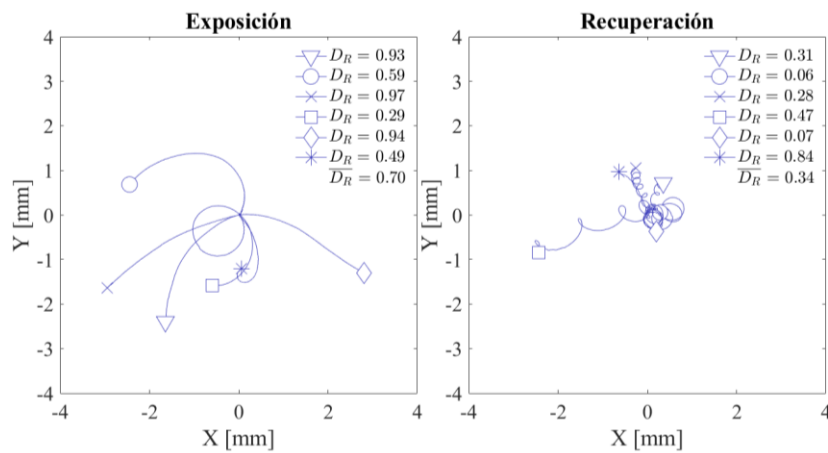


Figura 4. Trayectorias de larvas de erizo expuesto de a 20 PSU durante la etapa de exposición y 35 PSU durante la recuperación. Se ilustran las 6 repeticiones bajo condiciones equivalentes, y la mediana del índice de desplazamiento D_R .

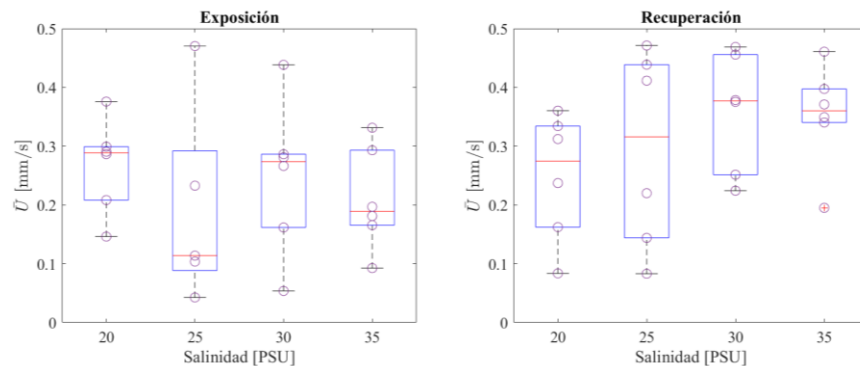


Figura 5. Boxplot de \bar{U} para larvas de erizo en exposición y recuperación.

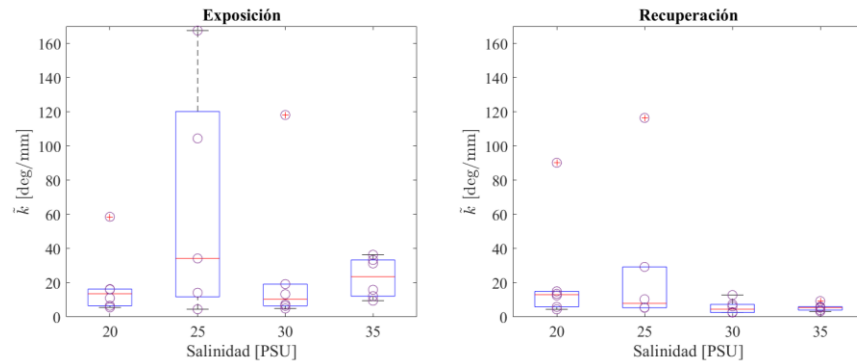


Figura 6. Boxplot de \tilde{k} para larvas de erizo en exposición y recuperación.

3.2 Modelación estocástica

La Figura 7a ilustra realizaciones de trayectorias obtenida a partir de las ecuaciones diferenciales estocásticas para el ángulo y la velocidad, cuyos parámetros se obtienen del experimento correspondiente. Las Figura 7b y Figura 7c el histograma y las distribuciones de probabilidad para el ángulo y la velocidad asociadas a los modelos. La ventaja principal de los modelos estocásticos lineales es el bajo número de parámetros que es posible de interpretar de manera física. Las ecuaciones (9) y (10) no solo permiten identificar la dependencia lineal de las variables que definen la trayectoria, sino también generar trayectorias sintéticas que son estadísticamente indistinguibles las mediciones. La dependencia de estos parámetros estadísticos en función de la salinidad también entrega información sobre el efecto de este parámetro ambiental en el movimiento de estas dos especies, informando el nivel y magnitud de la aleatoriedad del movimiento cuando se encuentran expuestas a distintas condiciones del entorno.

4 DISCUSIÓN

4.1 Métricas de movimiento

A partir de las métricas de movimiento por separado fue posible diferenciar los efectos de los tratamientos de exposición y recuperación de los individuos. Al analizar las métricas en conjunto es posible determinar ciertos patrones de comportamiento. Las Figura 8 y Figura 9 contienen gráficos de puntos de D_R vs \tilde{k} , D_R vs \bar{U} y \bar{U} vs \tilde{k} para locos y erizos, respectivamente, donde el color del punto representa el nivel de salinidad. Para las larvas de locos, es posible determinar que a mayor salinidad (30-35 PSU) tiende a tener valores de D_R menores.

Estos experimentos, si bien promisorios, podrían mejorarse de diversas formas. En primer lugar, el análisis se ejecutó a partir de videos que registran el desplazamiento de las larvas en sentido normal al eje de colimación de la cámara, en dos dimensiones. Así, los videos no capturan la tridimensionalidad del desplazamiento, que adicionalmente está restringido al pequeño espesor de las láminas de agua donde se desplaza la larva. La captura del desplazamiento en tres dimensiones podría caracterizarse en muestras volumétricas de agua (en reemplazo de las láminas de agua) en

combinación con cámaras observando en direcciones mutuamente perpendiculares, cuestión que requiere de un desarrollo de la técnica experimental. Adicionalmente, la técnica desarrollada se centra en la captura de las trayectorias instantáneas (y las magnitudes derivadas de la misma), sin obtener información de la rotación de las larvas en torno a su eje. En síntesis, de los seis grados de libertad que definen a un sólido rígido (tres desplazamientos y tres giros), solo se rescatan dos desplazamientos en sentido perpendicular al eje de colimación de la cámara (es decir, proyecciones bidimensionales de un movimiento tridimensional).

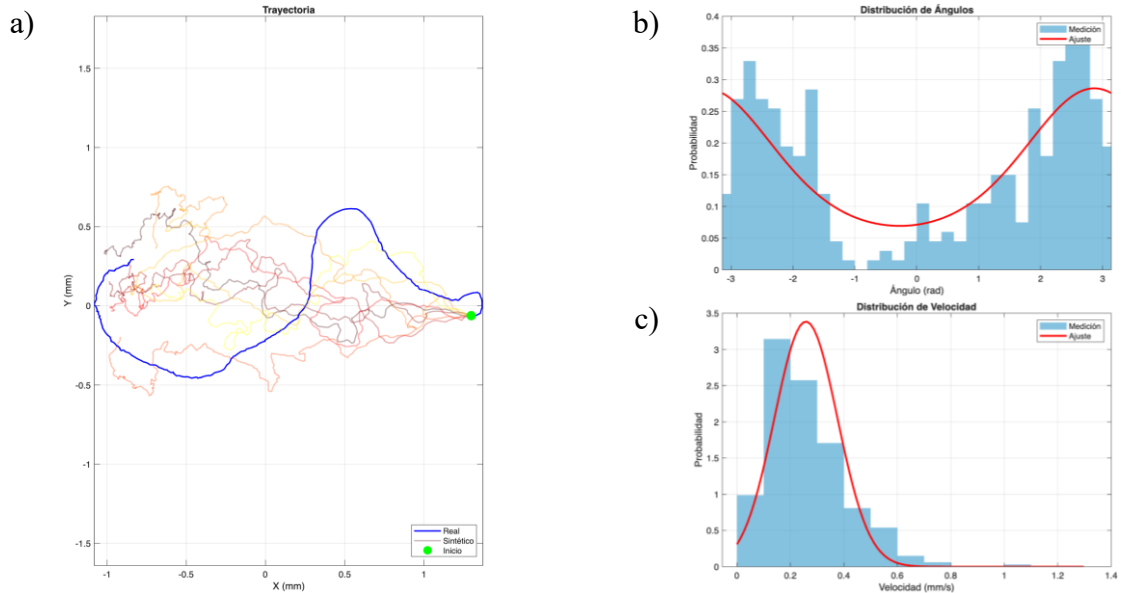


Figura 7. Ejemplo de trayectoria con el ajuste de las ecuaciones diferenciales estocásticas para el ángulo y la velocidad. a) Comparación de la trayectoria original con una trayectoria sintética. Histograma de mediciones y distribuciones de probabilidad asociadas a los modelos para b) el ángulo y c) la velocidad.

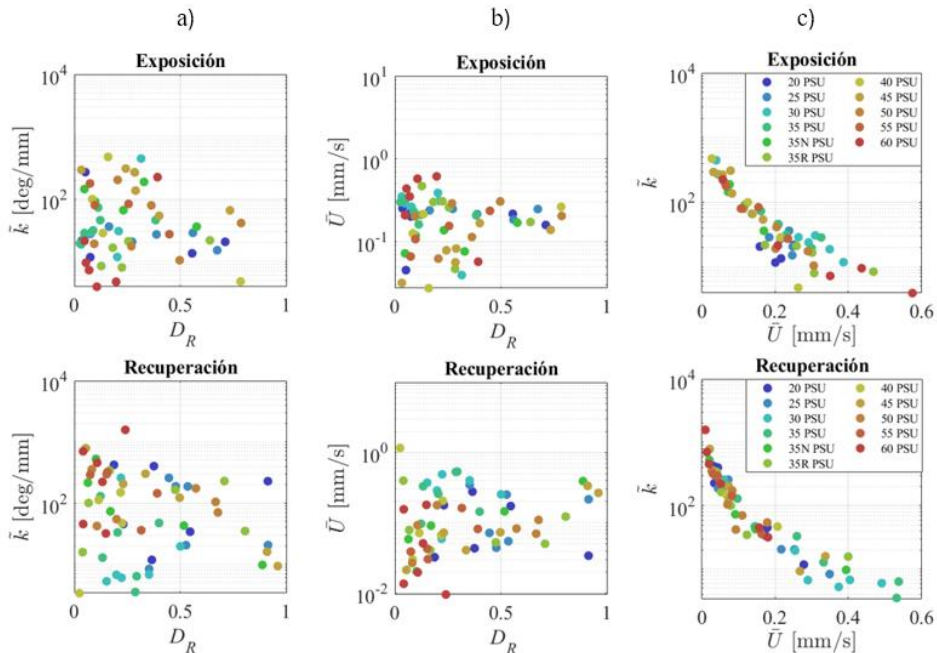


Figura 8. Métricas en conjunto para locos (a) D_R vs \tilde{k} (b) D_R vs \bar{U} (c) \bar{U} vs \tilde{k} .

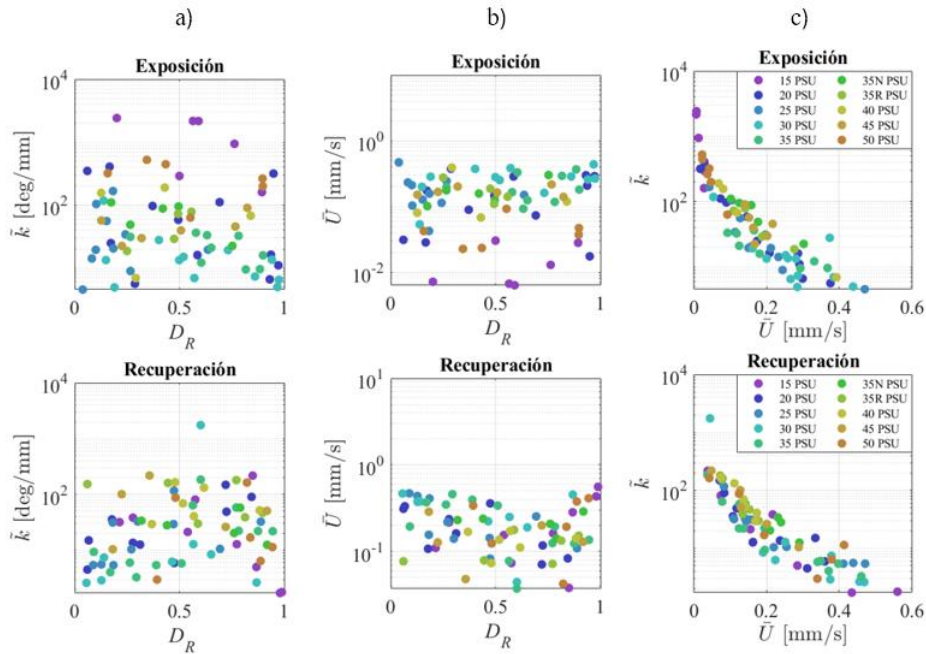


Figura 9. Métricas en conjunto para erizos (a) D_R vs \tilde{k} (b) D_R vs \bar{U} (c) \bar{U} vs \tilde{k} .

4.2 Modelación estocástica

Respecto al análisis mediante modelos estocásticos, se evidencian relaciones, pero es necesario lograr un mayor desarrollo. El parámetro γ_θ , que representa la dependencia temporal del ángulo de movimiento, presentó en general valores bajos en los modelos estocásticos ajustados. No obstante, se observaron variaciones significativas bajo ciertas condiciones de salinidad: en las larvas de loco, dichas variaciones se manifestaron a 45 PSU, mientras que en erizo se evidenciaron a partir de 35 PSU (Figura 10).

Cabe destacar que, tanto para los modelos de velocidad como para los de ángulo, los valores más elevados de los parámetros de dependencia se registraron durante el periodo de exposición. Sin embargo, en el caso de la velocidad, los patrones de dependencia en función de la salinidad fueron menos claros, dificultando la identificación de una relación sistemática entre ambas variables. La resolución de las observaciones muestra que existe una gran distribución de ángulos instantáneos en las trayectorias. Esta variabilidad local puede interferir con el ajuste de parámetros de las ecuaciones, que buscan interpretar el movimiento global durante todo el periodo de observación.

En el análisis futuro del comportamiento de ambas especies, se evaluarán las propiedades estadísticas de las trayectorias en función de la salinidad para un rango más amplio de escalas temporales, realizando un filtro sobre los ángulos y la velocidad que permita observar las dependencias temporales y la relevancia de la aleatoriedad en el comportamiento de ambas especies.

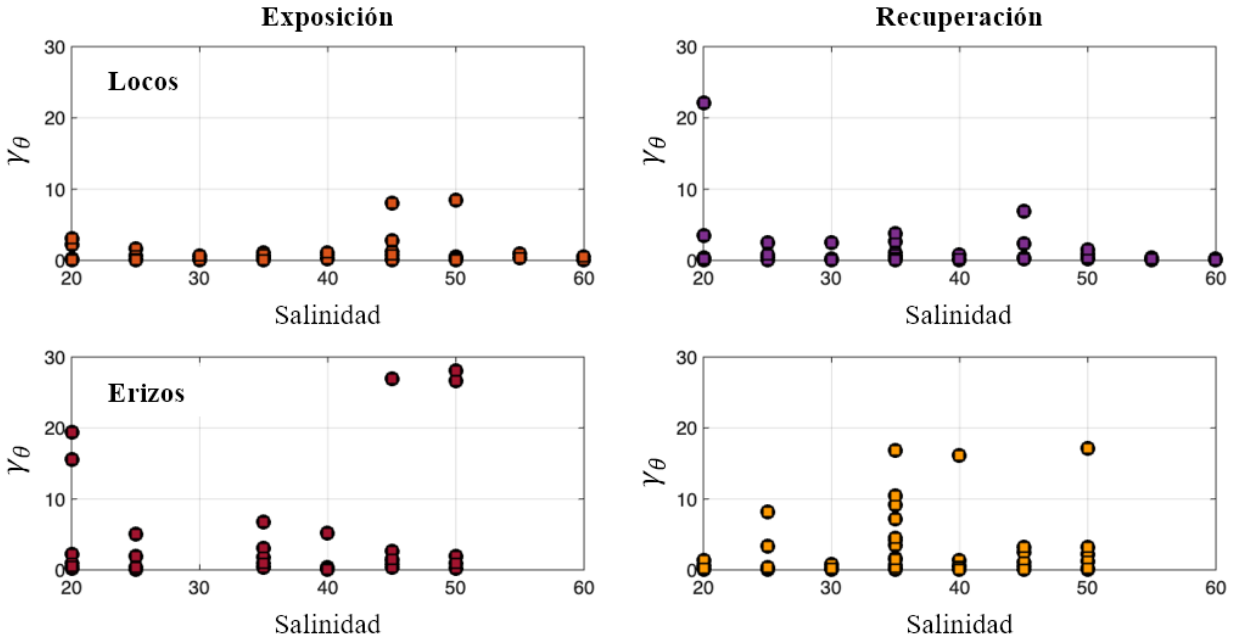


Figura 10. Parámetro γ_θ versus Salinidad, para locos (fila superior) y erizos (fila inferior)

5 CONCLUSIONES

El estudio de los efectos del agua de descarte proveniente de plantas desaladoras sobre las especies presentes en los hábitats receptores aún se encuentra en una etapa incipiente. En este contexto, el presente trabajo constituye una primera aproximación para evaluar los impactos de variaciones en la salinidad, utilizando técnicas avanzadas de procesamiento de imágenes en laboratorio y modelación lagrangiana de trayectorias. Estas herramientas complementan los métodos tradicionalmente empleados en la biología marina y demuestran un potencial significativo para su aplicación en evaluaciones de impacto ambiental asociadas a futuros proyectos de desalación. La naturaleza exploratoria de la metodología propuesta aporta una nueva perspectiva al análisis biológico, promoviendo la integración de distintas disciplinas frente a problemáticas comunes, lo que puede traducirse en avances sustanciales en su comprensión.

REFERENCIAS

- Brown, D., Christian, W., & Hanson, R. (2024). Tracker Video Analysis and Modeling Tool (Version 6.3.1). Retrieved from <https://physlets.org/tracker/>.
- Byrne, M., Soars, N., Ho, M., Wong, E., McElroy, D., Selvakumaraswamy, P., . . . Davis, A. (2010). Fertilization in a suite of coastal marine invertebrates from SE Australia is robust to near-future ocean warming and acidification. *Marine Biology*, 157(9), 2061-2069. doi:<https://doi.org/10.1007/s00227-010-1474-9>
- Del Pilar Ruso, Y., De la Ossa Carretero, J., Giménez Casalduero, F., & Sánchez Lizaso, J. L. (2007). Spatial and temporal changes in infaunal communities inhabiting soft-bottoms affected by brine discharge. 64(4), 492-503. doi:10.1016/j.marenvres.2007.04.003
- de-la-Ossa-Carretero, J., Del-Pilar-Ruso, Y., Loya-Fernández, A., Ferrero-Vicente, L., Marco-Méndez, C., Martínez-García, E., . . . Sánchez-Lizaso, J. L. (2016). Bioindicators as metrics for environmental monitoring of desalination plant discharges. *Marine Pollution Bulletin*, 103(1-2), 313-318. doi:<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.12.023>
- Del-Pilar-Ruso, Y., Martínez-García, E., Giménez-Casalduero, F., Loya-Fernández, A., Ferrero-Vicente, L. M., Marco-Méndez, C., . . . Sánchez-Lizaso, J. L. (2015). Benthic community recovery from brine impact after the implementation of mitigation measures. *Water Research*, 70, 325-336. doi:<https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.11.036>
- Frank, H., Fussmann, K., Rahav, K. E., & Bar-Zeev, E. (2019). Chronic effects of brine discharge from large-scale seawater reverse osmosis desalination facilities on benthic bacteria. *Water Research*, 151, 478-487. doi:<https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.12.046>
- Frank, H., Rahav, E., & Bar-Zeev, E. (2017). Short-term effects of SWRO desalination brine on benthic heterotrophic microbial communities. *Desalination*, 417, 52 – 59.
- Lopez-Ortiz, E., & Sánchez, A. (2009). Effect of increased salinity in the ovum fertilization of sea urchin *Strongylocentrotus franciscanus* and *Lytechinus anamesus*. *Hidrobiológica*, 19, 181-184.
- Manríquez, P., González, C., Abarca, A., Jenó, K., Jofré, V., Astudillo, O., & Aguilera, V. (2024a). Effects of brine discharges on newly hatched larvae of the rocky-shore keystone gastropod *Concholepas concholepas*. *Desalination*, 581(117579). doi:<https://doi.org/10.1016/j.desal.2024.117579>
- Manríquez, P., González, C., Abarca, A., Jofré, V., Astudillo, O., & Aguilera, V. (2024b). Behavioural and physiological responses of the surf clam *Mesodesma donacium* to brine discharges. *Science of the Total Environment*, 922, 171233. doi:10.1016/j.scitotenv.2024.171233
- Manríquez, P., Jara, M. E., Mardones, M. L., Navarro, J., Torres, R., Lardies, M., . . . Lagos, N. (2013). Ocean acidification disrupts prey responses to predator cues but not net prey shell growth in *Concholepas concholepas* (laco). *PLOS ONE*, 8(7). doi:10.1371/journal.pone.0068643
- Méndez, V., Campos, D., & Bartumeus, F. (2016). *Stochastic foundations in movement ecology*. Springer-Verlag Berlin An.
- Mjaavatten, A. (2020). Curvature of a discrete curve in 3D space.
- Sugni, M., Mozzi, D., Bonasoro, F., & Candia Carnevali, M. D. (2007). Endocrine disrupting compounds and echinoderms: new ecotoxicological sentinels for the marine ecosystem. *Ecotoxicology*, 16(1), 95-108. doi:<https://doi.org/10.1007/s10646-006-0119-8>.
- Vicuña, S., Daniele, L., Fariás, L., González, H., Marquet, P. A., Palma-Behnke, R., Stehr, A., Urquiza, A., Wagemann, E., Arenas-Herrera, M. J., Bórquez, R., Cornejo-Ponce, L., Delgado, V., Etcheberry, G., Fragkou, M. C., Fuster, R., Gelcich, S., Melo, O., Monsalve, T., . . . Winckler, P. (2022). Desalinización: Oportunidades y desafíos para abordar la inseguridad hídrica en Chile. Comité Asesor Ministerial Científico sobre Cambio Climático; Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación.