

SEGURIDAD HÍDRICA



JOAQUÍN MELGAREJO MORENO
M^a INMACULADA LÓPEZ ORTIZ
PATRICIA FERNÁNDEZ ARACIL

SEGURIDAD HÍDRICA

© los autores, 2023
© de esta edición: Universitat d'Alacant
ISBN: 978-84-1302-234-5

Reservados todos los derechos. No se permite reproducir, almacenar en sistemas de recuperación de la información, ni transmitir alguna parte de esta publicación, cualquiera que sea el medio empleado -electrónico, mecánico, fotocopia, grabación, etcétera-, sin el permiso previo de los titulares de la propiedad intelectual.

TABLA DE CONTENIDO

BLOQUE I - PLANIFICACIÓN

Consideraciones ambientales con relación a la aprobación del Plan Hidrológico del Tajo de Tercer Ciclo 2022-2027 y el Traspase Tajo-Segura José Navarro Pedreño.....	19
Planificación Hidrológica: información, participación y evaluación ambiental estratégica Ángel Ruiz de Apodaca Espinosa	39
Representación espacio-temporal del riesgo de inundación a partir de las indemnizaciones del seguro de riesgos extraordinarios Francisco Espejo Gil, Urko Elozegi Gurmendi.....	59
La desalación en la estrategia de seguridad hídrica. Implicaciones económicas y ambientales Alberto del Villar García.....	73
La desalación en la provincia de Almería: garantía para el abastecimiento y el regadío Francisco Javier Alcántara Pérez	93
Mejorar la resiliencia ante las inundaciones en la Vega Baja (España). Propuesta didáctica en bachillerato Ángela del Carmen Zaragoza, Álvaro-Francisco Morote, María Hernández Hernández.....	105
Resignificando la ciudad como biotopo humano Javier Eduardo Parada Rodríguez, Liliana Romero Guzmán, Jesús Enrique De Hoyos Martínez	117
Gestión del agua y saneamiento básico en una reserva de desarrollo sostenible: comunidad de Nossa Senhora do Livramento do Tupé, Brasil Antonio Jorge Barbosa da Silva Maria Claudia da Silva Antunes de Souza	133
Proposición de una metodología para estimar la erosión del suelo en viticultura mediante ISUM (Improved Stock Unearthing Method). Un caso en el viñedo leonés Antonio Jódar-Abellán, Marta García-Fernández, Susana García-Pisabarro, Jesús Rodrigo-Comino	141
Estimación de la disponibilidad y seguridad hídrica bajo escenarios de cambio climático en una cuenca hidrológica agro-forestal del sureste de España Antonio Jódar-Abellán, Dámaris Núñez-Gómez, Efraín Carrillo-López, Ryan T. Bailey, Pablo Melgarejo	151
Determinación del umbral de escorrentía y disponibilidad hídrica de la cuenca hidrográfica del río Jubones, Ecuador Paolo Brazales Cervantes, Seyed Babak Haji Seyed Asadollah, Antonio Jódar-Abellán.....	163
Análisis del umbral de escorrentía de la cuenca del río Obispo, en la provincia del Carchi (Ecuador) Pablo David Viera Ríos, Derdour Abdessamed, Antonio Jódar-Abellán.....	175
El acuífero del Peñón (Alicante): un pequeño acuífero kárstico Víctor Sala Sala, José Miguel Andreu Rodes, Miguel Fernández Mejuto, Ernesto García Sánchez.....	185

¿Se observan cambios en la precipitación que afecten al Acuífero del Ventós (provincia de Alicante)?

José Miguel Andreu Rodes, Igor Gómez Domenech, Miguel Fernández-Mejuto, Juan Bellot Abad197

Revisión de las políticas de modernización de regadíos en la Comunidad Valenciana. La estrategia valenciana de regadíos 2020-2040

David Sancho-Vila, Marta García-Mollá207

El impacto del proyecto europeo ARSINOE en la gestión del acuífero de la isla de El Hierro (Canarias)

Juan C. Santamarta, Noelia Cruz-Pérez, Joselin S. Rodríguez-Alcántara, Alejandro García-Gil, Miguel Á. Marazuela, Carlos Baquedano, Jesica Rodríguez Martín, Luis Fernando Martín Rodríguez 219

BLOQUE II - INFRAESTRUCTURAS

Reutilización de aguas regeneradas en la cuenca del seguro. Adaptación al reglamento (UE) 2020/741: retos y oportunidades

Sonia M. Hernández López, José Carlos González Martínez231

Caracterización hidrológica de los caudales ecológicos mínimos en España

Luis Garrote de Marcos 249

Sobrevvertido en presas de hormigón. Evaluación de las acciones hidrodinámicas

Luis G. Castillo Elsitdié, José M. Carrillo Sánchez, Juan T. García Bermejo 269

Consideraciones sobre la estimación de hidrogramas de rotura de presas

Luis Altarejos García 295

La seguridad de las infraestructuras hidráulicas

Francisco Javier Flores Montoya315

La ordenación del territorio y la planificación hidrológica al servicio de la seguridad hidráulica y energética

Francisco Javier Flores Montoya325

La evolución de los servicios urbanos del agua en Madrid: un servicio de alta calidad

Ignacio Lozano Colmenarejo345

BALTEN: el agua regenerada como garantía de suministro de agua de riego en Tenerife

Ana Sánchez Espadas, Jesús Rodríguez Martí363

El sector del agua urbana frente a las nuevas exigencias legislativas para mantener la seguridad hídrica

Carmen Hernández de Vega, Alicia Ayuso Solís381

El abastecimiento de la ciudad de Ávila: retos y soluciones científico-técnicas

José Luis Molina González, Jorge Mongil Manso 399

El Consorcio de Aguas de la Marina Baja: un ejemplo de economía circular en la garantía del abastecimiento urbano ante el reto continuo de las sequías

Jaime Berenguer Ponsoda409

Gestión activa de sistemas de abastecimiento mediante el empleo de sistemas multiagente (MAS) para la sostenibilidad

Carlos Calatayud Asensi, José Vicente Berná Martínez, Vicente Javier Macián Cervera, Lucía Arnau Muñoz439

La gestión municipal del ciclo urbano del agua digitalizado

Rosa Rozas Torrente, M^a José Moya Llamas, Arturo Trapote Jaime451

Microsectorización dinámica redes de distribución de agua	
Arturo Albaladejo Ruiz.....	463
Uso de compuertas en redes de drenaje para reducir inundaciones	
Leonardo Bayas-Jiménez	477
Detección y monitoreo de aguas superficiales en la región semiárida brasileña a partir de datos orbitales de sensores remotos	
Izaias de Souza Silva.....	487

BLOQUE III - EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA Y JURÍDICA

La inseguridad hídrica del informe del Consejo Nacional del Agua sobre el recorte del travase Tajo-Segura	
Miguel Ángel Blanes Climent.....	499
El necesario impulso a las centrales hidroeléctricas reversibles como contribución a la seguridad energética nacional: algunas cuestiones jurídicas	
Estanislao Arana García	511
Políticas públicas para la mitigación del impacto del cambio climático sobre los aprovechamientos energéticos	
Jesús Conde Antequera	529
La legislación contra el cambio climático y la transición a una economía descarbonizada desde una doble perspectiva: ambiental y social	
José Esteve Pardo.....	549
Huella hídrica y financiación sostenible	
Domingo Zarzo Martínez, Mercedes Calzada Garzón, Patricia Terrero Rodríguez.....	559
¿Estamos sobreestimando los recursos de agua regenerada? Una ducha fría con la realidad hidro-económica	
Julio Berbel, Esther Díaz-Cano, Alfonso Expósito	577
Taxonomía de los instrumentos económicos aplicados para la gestión sostenible del agua	
Nazaret M ^a Montilla López, Esther Díaz-Cano y Julio Berbel.....	597
Seguridad hídrica y objetivos del PNIEC desde una perspectiva jurídica	
José Antonio Blanco Moa	613
SIAGES: un innovador sistema integrado de apoyo a la gestión del agua	
Alberto Esteban Barrera García, Álvaro Rodríguez García, Ramón Bella Piñeiro, Jose Pablo Ormaechea, Luis José Ruiz Aznar, Abel Solera Solera et al., Manuel Argamasilla Ruiz, Lupicino García Ortiz.....	631
Crisis energética y equilibrio económico financiero en la contratación pública	
Esteban Arimany Lamoglia	643
Garantía del abastecimiento en el Sureste español: la Mancomunidad de los Canales del Taibilla	
Patricia Fernández Aracil, M ^a Inmaculada López Ortiz, Joaquín Melgarejo Moreno.....	655
La evaluación de impacto ambiental de proyectos hidráulicos ¿lo estamos haciendo bien?	
Carlos Martín Cantarino.....	677

La seguridad energética y el autoconsumo fotovoltaico como herramienta para la seguridad hídrica	
Marcos García-López, Joaquín Melgarejo	695
Seguridad hídrica y equilibrio ecológico en el parque natural «El Hondo»: visión histórico-jurídica	
Francisco José Abellán Contreras	709
Los trasvases en tiempos de seguridad hídrica	
Paul Villegas Vega	723
Vulnerabilidad e incidencia de la pobreza hídrica en Alicante	
Ricardo Abad Coloma	735
Asequibilidad al agua urbana y pobreza hídrica en ciudades del Norte global: el caso de Alicante	
Luis E. Zapana Churata, Rubén A. Villar Navascués, María Hernández Hernández, Antonio M. Rico Amorós	745
Políticas públicas de ayudas para la mejora, modernización e innovación en el regadío de la Región de Murcia	
Ramón Martínez Medina, Encarnación Gil Meseguer, José María Gómez-Gil, José María Gómez Espín	759
O reflexo das <i>fake news</i> frente a crise ambiental: uma reflexão necessária nos dias atuais	
Aline Hoffmann, Liton Lanes Pilau Sobrinho	773
Apontamentos sobre o pagamento por serviços ambientais	
André Luiz Anrain Trentini	783
Constitucionalismo das águas – o “aguar” das constituições	
Luciana Pelisser Gottardi Trentini	795
Uso sustentável da água: uma definição a partir dos conceitos de segurança hídrica, de eficiência e de sustentabilidade	
Ana Luisa Schmidt Ramos, Alexandre Morais da Rosa	805
O regime de responsabilidade penal pela poluição hídrica no Brasil	
Jefferson Zanini, Luiz Antônio Zanini Fornerolli	815
Segurança hídrica e seu tratamento jurídico no o regime de responsabilidade penal pela poluição hídrica no Brasil e na Espanha	
Leandro Katscharowski Aguiar	827
Debatendo os ODS com base na sustentabilidade e no desenvolvimento sustentável.....	
Denise Schmitt Siqueira Garcia, Heloise Siqueira Garcia	837
A falta de efetividade no planejamento da segurança hídrica do Brasil	
Denise Schmitt Siqueira Garcia, Alexandre Waltrick Rates	851
Do constitucionalismo ao constitucionalismo global: por uma constituição mundial em defesa de bens fundamentais	
Vanessa Ramos Casagrande	863
A dessalinização da água como instrumento de segurança hídrica	
Anaxágora Alves Machado Rates	875
A canção dos oceanos	
Paola Fava Saikoski	885

Análise da lei de recursos hídricos à luz da responsabilidade do Brasil para com a sustentabilidade e a conscientização ambiental	
Adilor Danieli	895
Investigación sobre el río Amarillo en las dinastías Ming y Qing. Comentario sobre la Ley de protección del río Amarillo	
Yang Yang.....	907
Propuesta metodológica para la recolección del etnoconocimiento en la gestión del riesgo de desastre	
Isaleimi Quiguapumbo Valencia, Antonio Aledo Tur.....	919

BLOQUE IV - TECNOLOGÍAS

Nuevo sistema de riego con recuperación de agua y nutrientes	
Pablo Melgarejo, Dámaris Núñez-Gómez, Pilar Legua, Vicente Lidón, Agustín Conesa, Antonio Marhuenda, Juan José Martínez-Nicolás.....	933
Dinapsis: transformación digital para la gestión sostenible del agua y la salud ambiental	
María Tuesta San Miguel.....	953
Los contaminantes emergentes en la reforma de la directiva de aguas residuales	
Daniel Prats Rico.....	959
Fertirrigación y nuevas estrategias como garantía de seguridad hídrica en el regadío	
Alejandro Pérez Pastor y Elisa Pagán Rubio.....	985
La desalación y el hidrógeno	
Alejandro Zarzuela López.....	1005
Análisis regional de la reducción de boro en agua marina desalinizada para el riego agrícola en el sureste español	
Alberto Imbernón Mulero, José Francisco Maestre Valero, Saker Ben Abdallah, Victoriano Martínez Álvarez, Belén Gallego Elvira.....	1021
Impacto ambiental de la reducción del boro del agua de mar desalinizada para el riego en parcela	
Saker Ben Abdallah, Belén Gallego-Elvira, Alberto Imbernón-Mulero, Victoriano Martínez-Alvarez, José Francisco Maestre Valero.....	1031
Modelado cinético del consumo de CO₂ para la cepa Spirulina platensis	
Antonio F. Marcilla Gomis, Inmaculada Blasco López.....	1041
Empleo de filtro verde construido con residuos para reducir el contenido en fósforo en aguas de riego	
Teresa Rodríguez Espinosa, María Belén Almendro Candel, Ana Pérez Gimeno, Iliana Papamichael.....	1055
Tecnologías de oxidación avanzada para la degradación del fármaco carbamazepina: la ozonización	
María José Moya-Llamas, Marta Ferre Martínez, Elizabetha Domínguez Chabaliná, Arturo Trapote Jaime, Daniel Prats Rico.....	1067
Aprendizaje basado en proyectos colaborativos globales en formación profesional: banco de ensayos hidráulicos para la digitalización del agua	
Albert Canut Montalvà, Joaquín Martínez López, Maties Roma mayor, Antonio Oliva Sánchez.....	1079

Reutilización de agua para riego en la ciudad de Murcia. Proyecto LIFE CONQUER Eva Mena Gil, Simón Nevado Santos, Elena de Vicente Aguilar, Adriana Romero Lestido Benoît Fabien Claude Lefèvre.....	1091
Eliminación de microcontaminantes emergentes en lodos de depuradora mediante procesos de oxidación avanzada: peróxido de hidrógeno y ozono Clara Calvo Barahona, Adrián Rodríguez Montoya, María José Moya-Llamas, Arturo Trapote Jaume, Daniel Prats Rico.....	1103
Vigilancia y protección de las aguas superficiales mediante el proyecto WQeMS y los servicios del Copernicus Pablo Cascales de Paz, Eva Mena Gil, Isabel Hurtado Melgar, Laurent Pouget.....	1115
Tratamiento ecológico para la eutrofización y la anoxia en las masas de agua Ricardo Mateos-Aparicio Baixauli.....	1125
Modelado de descarga submarina de salmuera antes y después de la instalación de un difusor Silvano Porto Pereira, José Luís Sánchez-Lizaso, Paulo César Colonna Rosman. Ángel Loya, Iran Eduardo Lima Neto.....	1137
Las sequías en España en el siglo XXI: su influencia en la disminución y cierre de transferencias de agua del acueducto Tajo-Segura y de la conexión Negratín-Almanzora Encarnación Gil Meseguer, Ramón Martínez Medina, José María Gómez-Gil, José María Gómez Espín.....	1147

Modelado de descarga submarina de salmuera antes y después de la instalación de un difusor

Silvano Porto Pereira

Universidad de Alicante, España
Companhia de Água e Esgoto do Ceará, Brasil
silvanopereira@terra.com.br
<https://orcid.org/0000-0003-4362-211X>

José Luís Sánchez-Lizaso

Departamento de Ciencias del Mar y Biología Aplicada,
Universidad de Alicante, España
jl.sanchez@ua.es
<https://orcid.org/0000-0002-3927-5699>

Paulo César Colonna Rosman

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil
pccrosman@coppe.ufrj.br

Ángel Loya

Universidad de Alicante
loya@ua.es

Iran Eduardo Lima Neto

Universidade Federal do Ceará, Brasil
iran@deha.ufc.br

RESUMEN

El impacto ambiental más común asociado con las plantas de desalinización es la descarga de salmuera, o concentrado salino, en el mar, lo cual se puede reducirse mediante sistemas difusores. Este trabajo presenta los resultados del modelado de descarga de salmuera en la salinidad del agua alrededor del emisario de la planta desaladora de San Pedro del Pinatar (España), antes y después de instalar un equipo difusor. Se ha utilizado del software Visual Plumes para evaluar la dilución de campo cercano y el software SisBaHiA (Sistema de Base Hidrodinámica Ambiental) para generar un modelo hidrodinámico baroclínico y evaluar la dilución de campo lejano mediante modelos acoplados Eulerianos y Lagrangeanos. Los resultados del modelo se

compararon con los datos de monitoreo a largo plazo realizado por la Universidad de Alicante. Antes de la instalación del difusor, no había dilución inicial significativa y se formó una corriente de densidad clara en la dirección batimétrica, cercana a 0,05 m/s, extendiendo la salmuera hasta 3 km de la descarga del emisario. En este caso, la dirección y concentración de la pluma de salmuera eran similares a los datos de monitoreo. Por el contrario, después de la instalación del difusor, la dilución inicial fue cerca de 10, la corriente de densidad estaba presente, pero con menor intensidad ($< 0,02$ m/s) y la dispersión de pluma se redujo a menos de 0,6 km, de manera similar a los datos de monitoreo, mostrando una fuerte mejora en la tasa de dilución y la consiguiente reducción en el área afectada.

1. INTRODUCCIÓN

Durante la producción de agua mediante el proceso de desalinización, independientemente de la tecnología adoptada, siempre hay una corriente concentrada en sales, o salmuera, que debe tener un destino adecuado. El impacto ambiental más común asociado a las plantas desaladoras es este vertido de salmuera de alta concentración en el mar, lo cual depende del método de eliminación (Fernández-Torquemada et al., 2019). Cuando se producen tales impactos, estos pueden revertirse aumentando la dilución mediante uso de emisarios submarinos con difusores adecuados o mediante la mezcla previa con agua marina (Belatoui et al., 2017; Fernández-Torquemada et al., 2019, 2013).

El proceso dispersión de efluentes descargados de un emisario marino consiste en procesos de mezcla de campo cercano (near-field) y campo lejano (far-field), que ocurren en diferentes escalas espaciales y temporales (Sánchez-Lizaso et al., 2008). El primero depende básicamente de las condiciones ambientales (turbulencia del agua, velocidad de corriente y estratificación térmica y hialina) y características de los difusores y de los efluentes vertidos. En esta área, las características iniciales del chorro, impuestas por la geometría de salida, las condiciones de lanzamiento y por el medio ambiente (en particular las diferencias de densidad), tienen una influencia directa en la trayectoria del chorro y en el proceso de dilución.

En el caso específico de efluentes hipersalinas, como el caso particular de efluentes de plantas desalinizadoras, su densidad es mayor que el agua marina, haciendo que el chorro caiga poco después de alcanzar una altura terminal. Esta última es una función de la velocidad de eyección y la inclinación vertical del difusor, por lo que suele estar inclinado entre 45 y 60°. Este comportamiento se ilustra en Roberts (2015), donde el chorro a medida que asciende transporta el agua marina circundante, promoviendo la dilución del trazador usado y, por lo tanto, la salinidad del efluente. Una vez alcanzada la altura límite, el chorro comienza a decaer, continuando el proceso de arrastre del agua y dilución hasta que toca el fondo marino donde se extiende horizontalmente como una corriente de densidad, lo que mantiene el proceso turbulento promoviendo aún más dilución. La dilución al final del campo cercano puede ser considerablemente mayor que en el umbral de impacto del choro (Roberts, 2015).

A medida que la corriente se aleja del punto de descarga, las características geométricas de los difusores comienzan a tener menos influencia sobre el proceso de dilución, comenzando una segunda fase en el área llamada campo lejano, donde la pluma se convierte en una corriente de densidad que se mueve a través del lecho marino a una pequeña velocidad de dilución, a diferencia de la región de campo cercano.

Los flujos impulsados por este gradiente de densidad, que generalmente se denominan corrientes de densidad o gravedad, son desbordamientos continuos que viajan cuesta abajo debido a sus características de flotación negativa, es decir, porque son más pesados que el fluido circundante.

Con el objetivo de predecir el comportamiento de la salmuera liberada al mar, los modelos computacionales se pueden aplicar como una herramienta esencial para la evaluación ambiental de proyectos de desalinización, considerando diferentes propiedades de concentrado, configuraciones de difusores y condiciones marinas. Sobre la base de la hidrodinámica, apoyada por el monitoreo de la calidad del agua, el modelado ambiental también se puede utilizar para optimizar los sistemas de emisario existentes, así como, en situaciones de respuesta de emergencia, para minimizar los impactos indeseables en el medio marino.

Este trabajo presenta los resultados del modelado de descarga de salmuera en la salinidad del agua alrededor del emisario de la planta desaladora de San Pedro del Pinatar (España), antes y después de instalar un equipo difusor.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

Para evaluar los cambios de salinidad producidos por la instalación de un equipo difusor, elegimos el caso real de la planta desaladora de San Pedro de Pinatar (España), antes y después de su implementación. Utilizamos el software Visual Plumes para evaluar la dilución de campo cercano y el software SisBaHiA® (Sistema Base de Hidrodinámica Ambiental) (Pereira et al., 2021; Rosman, 2021) para generar un modelo hidrodinámico baroclínico y evaluar la dilución de campo lejano mediante modelos acoplados Eulerianos y Lagrangeanos. Además, también se utilizó el reciente modelo de campo cercano incluido en SisBaHiA y presentado por Rodrigues et al. (2023) ya acoplado a los modelos indicados arriba. Los resultados del modelo fueron comparados con los datos de monitoreo, antes y después de la instalación del difusor.

Para evaluar el efecto del gradiente de salinidad en la formación de posibles corrientes de densidad alrededor del punto de lanzamiento, se implementó inicialmente un modelo baroclínico de escala reducida (Downscaling) acoplado al modelo de transporte de sal sin tener en cuenta todos los forzamientos meteocéánicos y, posteriormente, incorporándose las corrientes medidas y generadas por el modelo anterior.

Las figuras 1 y 2 muestran la batimetría y la malla del área cubierta por los modelos, así como los puntos de datos utilizados para forzarlos y calibrarlos. La batimetría se obtuvo de la European Marine Observation and Data Network y se utilizó un conjunto de 33 constantes armónicas obtenidas de la Finite Element Solution (FES) para calcular el nivel astronómico del mar, mientras que las variaciones no astronómicas del nivel del mar se obtuvieron del reanálisis del Hybrid Coordinate Ocean Model (HYCOM) (Figura 3). Los datos de viento utilizados para impulsar el modelo provinieron del modelo de reanálisis atmosférico de Puertos del Estado (<https://www.puertos.es/es-es/oceanografia>) (Figura 4), mientras que las corrientes locales se obtuvieron de mediciones de un ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler), que se utilizaron para calibrar el modelo hidrodinámico.

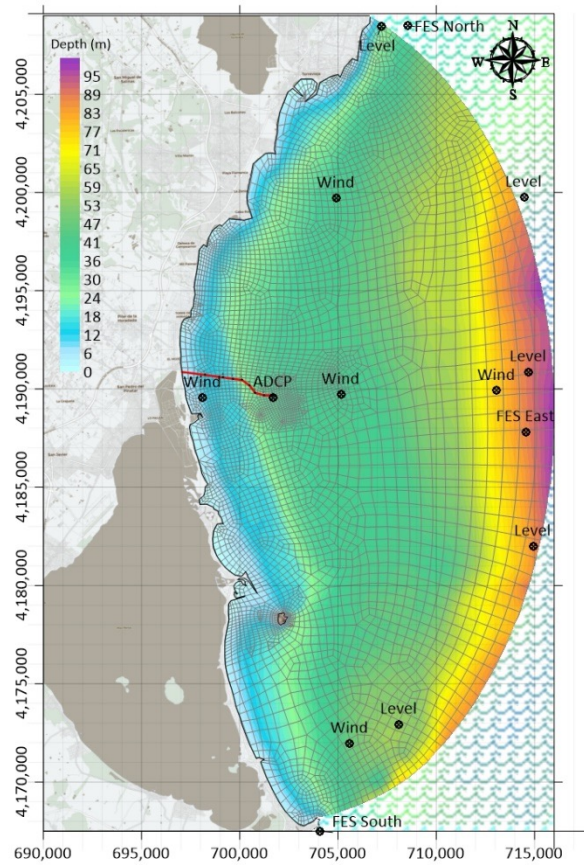


Figura 1. Área de estudio, que muestra la malla bicuadrática de elementos finitos utilizada, la batimetría y los puntos de datos utilizados para forzar el modelo hidrodinámico por mareas astronómicas (FES) y meteorológicas (Nivel) y vientos, así como el ADCP utilizado para calibrar las corrientes locales.

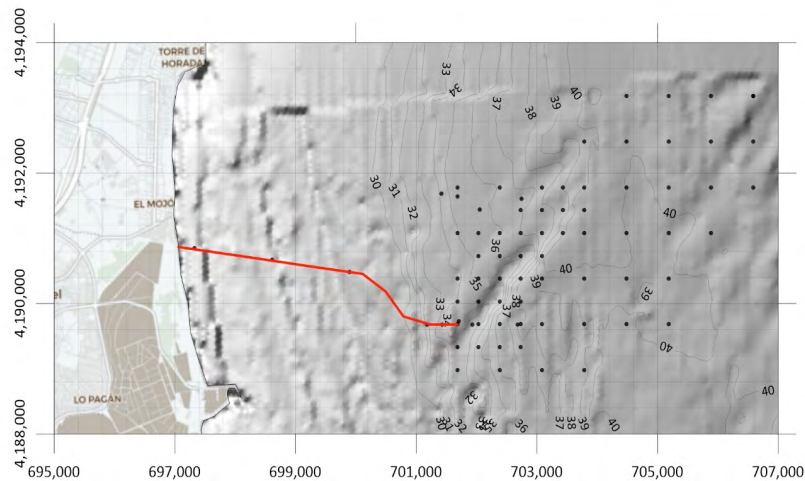


Figura 2. Área de reducción de escala (Downscaling), que muestra la batimetría cerca del difusor del emisario (rojo) y los 32 puntos de muestreo de salinidad utilizados para validar el modelo de transporte.

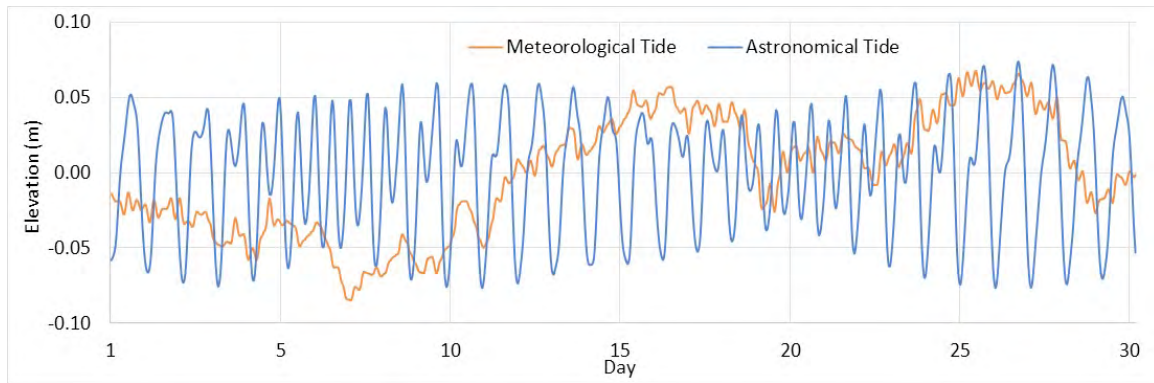


Figura 3. Elevación de la marea astronómica y meteorológica durante el mes de octubre de 2006.

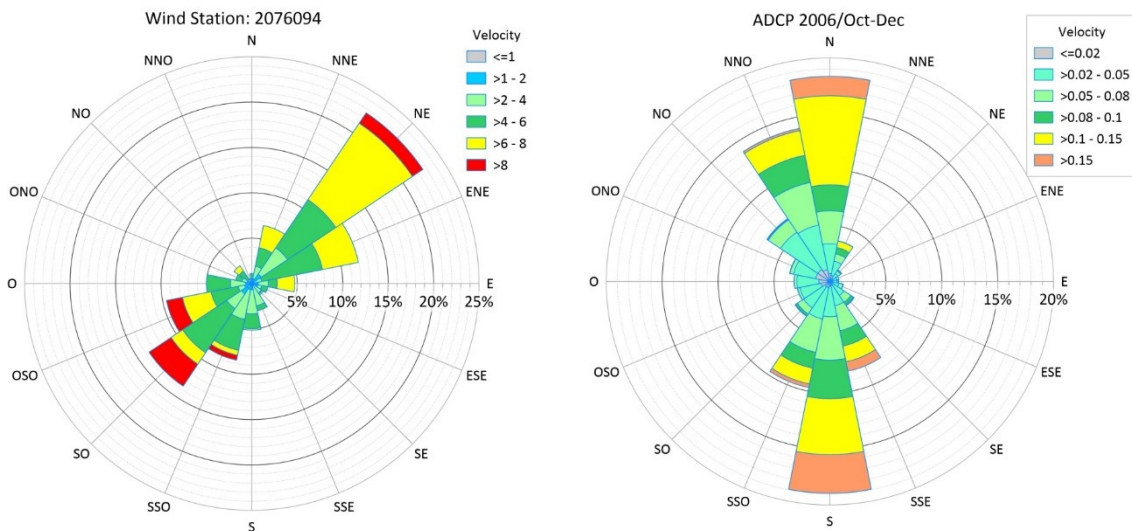


Figura 4. Rosa de los vientos (izquierda) y la corriente aumentaron durante octubre de 2006 (derecha).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al evaluar el comportamiento del campo cercano en estos dos escenarios, notamos que antes de la instalación del difusor, la dilución inicial en el campo cercano era insignificante, porque el efluente se descarga en el nivel del suelo marino, en concordancia con valores predichos por las formulaciones de Bleninger et al. (2010). En cuanto al escenario post-instalación, la Figura 5 muestra el comportamiento de la salmuera de chorro y las diluciones obtenidas en vista de la variabilidad de corriente local, medida por ADCP a 5 m del fondo. Las diluciones logradas variaron entre 13 y 33 en el punto donde el chorro toca el fondo marino (Figura 6), mientras que la concentración de salinidad en este punto varió de 38,8 a 40,3 psu. Los valores promedio de velocidad de corriente, dilución y salinidad (0,09 m/s, 17,5 veces y 39,7 psu) fueron similares a los reportados por Loya et al. (2012).

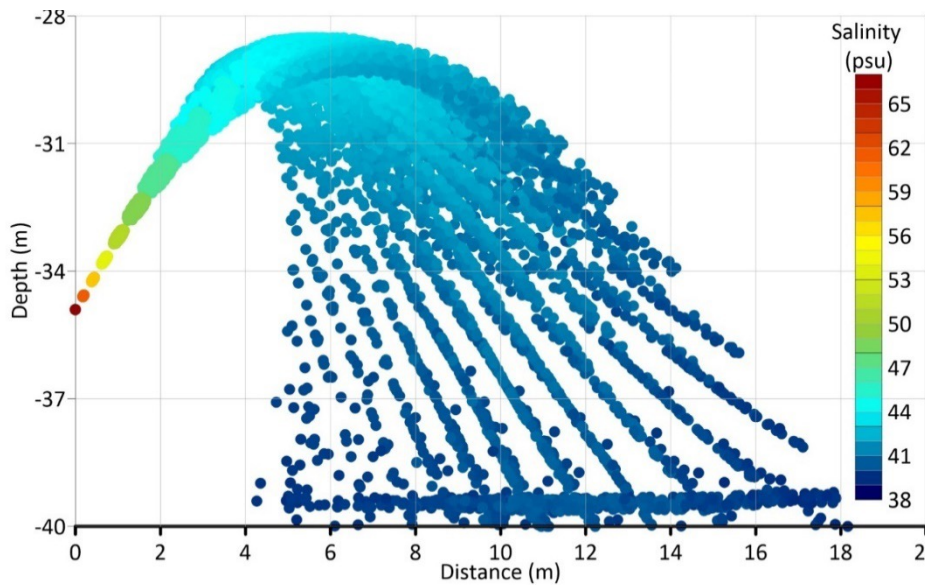


Figura 5. Comportamiento del chorro del difusor de salmuera a diferentes velocidades de corriente en octubre de 2006.

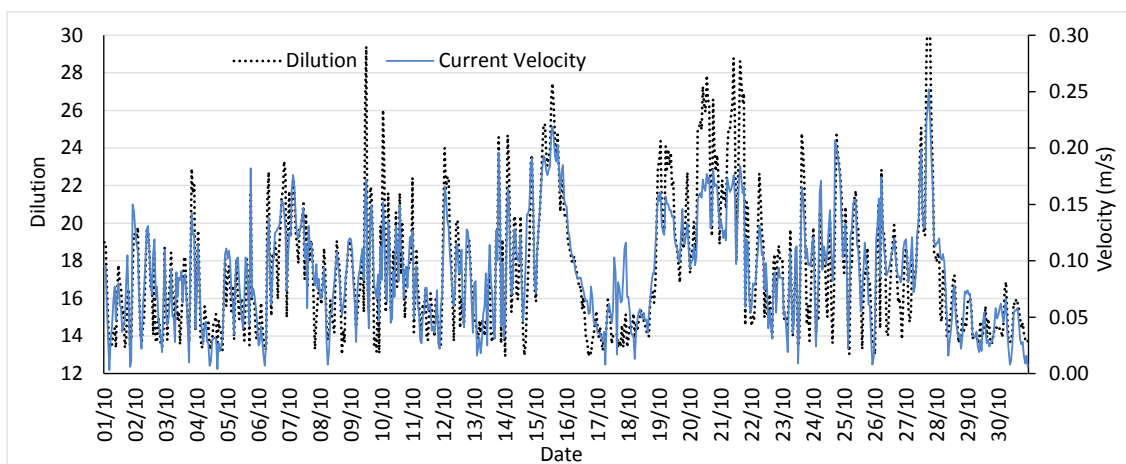


Figura 6. Variabilidad de salinidad en el punto donde el chorro toca el suelo marino y variabilidad de dilución en este punto causada por diferentes velocidades de corriente en octubre de 2006.

Las corrientes generadas por el modelo fueron consistentes con los datos del ADCP, especialmente aquellas paralelas a la costa generadas a 3m sobre el fondo (Figura 7). Sin embargo, el modelo no reprodujo con precisión las corrientes perpendiculares, posiblemente debido a la influencia de la circulación a gran escala del Mediterráneo, que no depende de los forzamientos utilizados en el presente estudio, así como de la presencia de corrientes de densidad formadas alrededor de la descarga, ya que la batimetría de la región disminuye en esta dirección, induciendo pequeñas corrientes en dirección este-oeste.

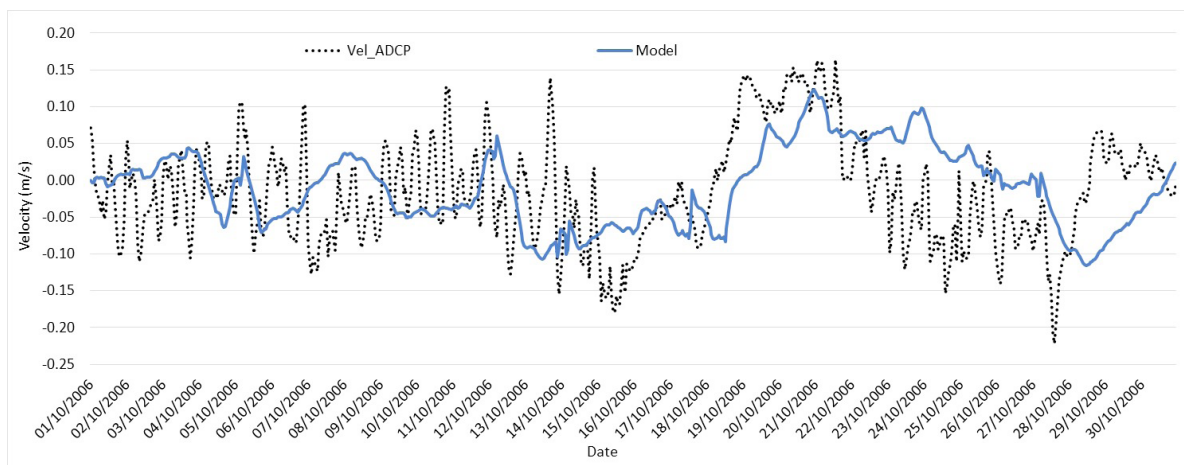


Figura 7. Corriente paralela a la costa (V_x), generada por el modelo hidrodinámico y medida por ADCP a 3 m sobre el fondo del mar.

La Figura 8 ilustra el efecto aislado del gradiente de salinidad en la generación de corrientes de densidad en la dirección batimétrica, cerca de 0,05 m/s, que extiende la salmuera hasta 3 km de la descarga del emisario (Figura 9). En este caso, la dirección y concentración de la pluma de salmuera fueron similares a los datos de monitoreo (Figura 9).

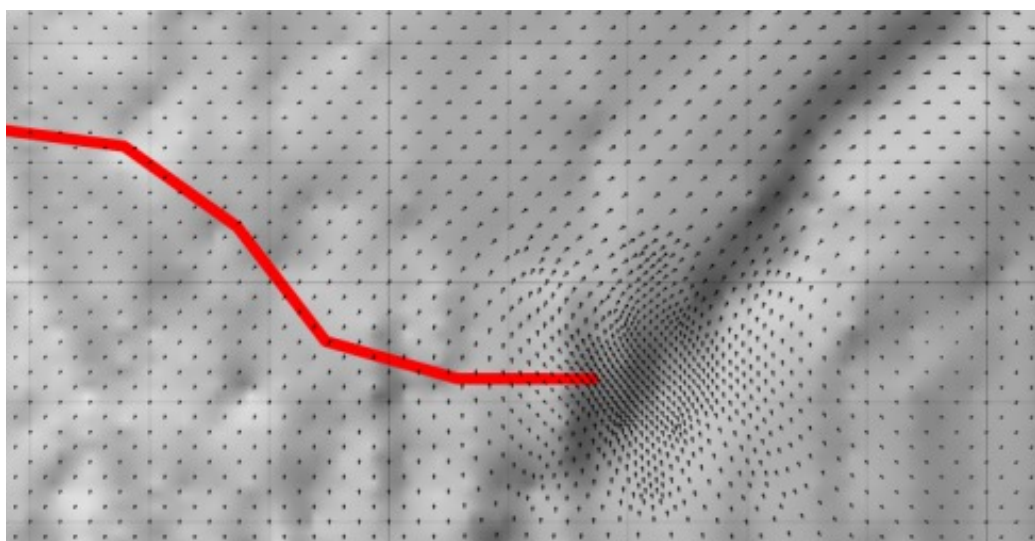


Figura 8. Mapa batimétrico y direcciones de corriente de densidad producidas por los modelos (la línea roja indica el emisario).

Por el contrario, después de la instalación del difusor, la alta dilución inicial mostrada en la Figura 7, reduce fuertemente ese efecto y la corriente de densidad estaba presente, pero con menor intensidad ($< 0,02$ m/s) y la propagación de la pluma se redujo a menos de 0,6 km, de manera similar a los datos de monitoreo (Figura 10), mostrando una fuerte mejora en la velocidad de dilución y la consiguiente reducción en el área afectada.

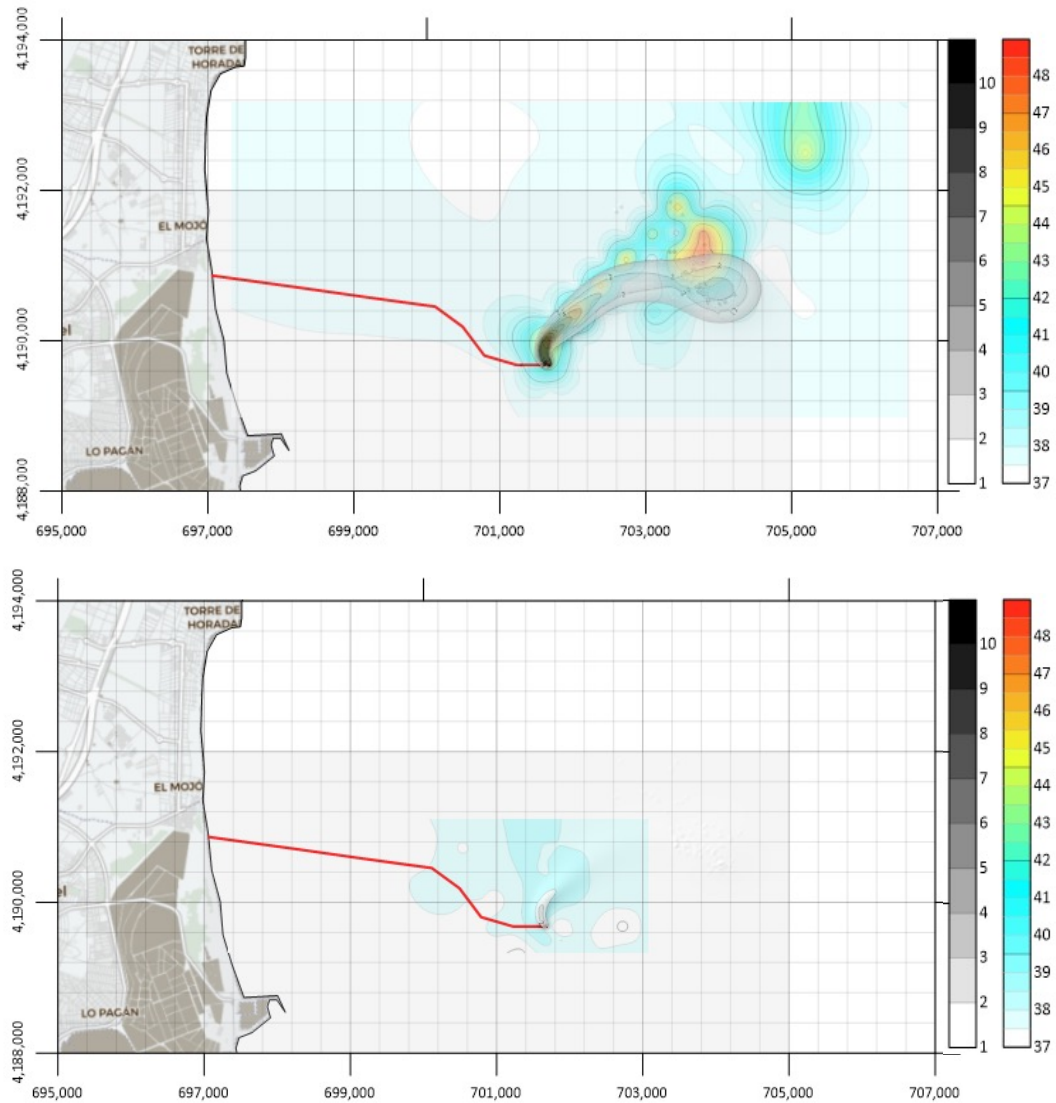


Figura 9. Concentración de salinidad del monitoreo (escala de color) e incremento de salinidad de los modelos Lagrangeanos (escala de grises), antes (arriba) y después de la instalación del difusor (inferior).

4. CONCLUSIONES

Las diluciones de campo cercano y las concentraciones de salinidad modeladas tras la instalación de un equipo difusor fueron consistentes con las mediciones locales y las disponibles en revisión bibliográfica. Los resultados del modelo hidrodinámico, forzado con las mareas, tanto astronómica como meteorológica, y con vientos, representaron bien las corrientes locales, especialmente cuando se acopló un modelo baroclínico dependiente de la calidad del agua para transporte de sal. En este caso, las corrientes de densidad, producidas por el gradiente de densidad, fueron claramente direccionadas por la pendiente batimétrica. Como consecuencia, el modelo de transporte Lagrangeano acoplado al modelo baroclínico, reprodujo bien el comportamiento de la pluma de salmuera en el campo lejano, cuando se compara con los datos de monitoreo. Finalmente, las herramientas de simulación computacional empleadas confirmaron la mejora producida por el uso de un equipo difusor en la dilución y la reducción del alcance de la salmuera vertida. Como recomendación para futuras investigaciones, se sugiere el estudio de diferentes escenarios de aumento de caudal vertido y del número de difusores del emisario.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico - CNPq (Beca de Investigación No. 200277/2022-7).

REFERENCIAS

- Belatoui, A., Bouabessalam, H., Hacene, O. R., De-La-Ossa-Carretero, J. A., Martínez García, E., & Sánchez-Lizaso, J. L. (2017). Environmental effects of brine discharge from two desalination plants in Algeria (South Western Mediterranean). *Desalin. Water Treat.*, 76, 311-318. <https://doi.org/10.5004/dwt.2017.20812>
- Bleninger, T., Niepelt, A., & Jirka, G. H. (2010). Desalination plant discharge calculator. *Desalination and Water Treatment*, 13(1-3), 156-173.
- Del-Pilar-Ruso, Y., Martínez-García, E., Giménez-Casalduero, F., Loya-Fernández, A., Ferrero-Vicente, L. M., Marco-Méndez, C., De-La-Ossa-Carretero, J. A., & Sánchez-Lizaso, J. L. (2015). Benthic community recovery from brine impact after the implementation of mitigation measures. *Water Res.*, 70, 325-336.
- Fernández-Torquemada, Y., González-Correa, J.M., Loya, A., Ferrero, L. M., Díaz-Valdés, M., & Sánchez-Lizaso, J. L. (2009). Dispersion of brine discharge from seawater reverse osmosis desalination plants. *Desalin. Water Treat.* 5, 137-145.
- Fernández-Torquemada, Y., González-Correa, J. M., & Sánchez-Lizaso, J. L. (2013). Echinoderms as indicators of brine discharge impacts. *Desalin. Water Treat.* 51, 567-573. <https://doi.org/10.1080/19443994.2012.716609>
- Fernández-Torquemada, Y., Carratalá, A., & Sánchez-Lizaso, J. L. (2019). Impact of brine on the marine environment and how it can be reduced. *Desalin. Water Treat.* 16, 27-37. <https://doi.org/10.5004/dwt.2019.24615>
- Palomar, P., Lara, J. L., Losada, I. J., Rodrigo, M., & Álvarez, A. (2012). Near field brine discharge modelling part 1: analysis of commercial tools. *Desalination*, 290, 14-27.
- Pereira, S. P., Rosman, P. C. C., Sánchez-Lizaso, J. L., Lima Neto, I. E., Silva, R. A. G., & Rodrigues, M. (2021). Brine outfall modeling of the proposed desalination plant of Fortaleza, Brazil. *Desalination and Water Treatment*, 234, 22-30.
- Roberts, P. J. W. (1979). Line plume and ocean outfall dispersion. *Journal of the Hydraulics Division*, 105(4), 313-33.
- Roberts, P. J. W. (2015). Near field flow dynamics of concentrate discharges and diffuser design. *Environmental Science and Engineering*, 369-396.
- Rodrigues, M. F., Rosman, P. C. C., Pereira, S. P., & Sánchez-Lizaso, J. L. (2023). Analysis of release of effluents with negative buoyancy in natural water bodies. In: *European Desalination Society Conference*, Limassol, Cyprus.

- Rosman, P. C. C. (ed.) (2021). *Referência Técnica do SisBaHiA®*. Fundação COPPETEC - COPPE/UFRJ.
- Sánchez-Lizaso, J. L., Romero, J. Ruiz, J., Gacia, E., Buceta, J. L. Invers, O., Torquemada, Y. F., Mas, J., Ruiz-Mateo, A., & Manzanera, M. (2008). Salinity tolerance of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*: recommendations to minimize the impact of brine discharges from desalination plants. *Desalination*, 221, 602-607.
- Sola, I., Zarzo, D., & Sánchez-Lizaso, J. (2019). Evaluating environmental requirements for the management of brine discharges in Spain. *Desalination*, 471, 114-132.