

Cambio climático: Efectos sobre la salinidad en los estuarios de Florida y respuestas de las ostras, las praderas marinas y otras formas de vida animal y vegetal¹

Ashley R. Smyth, H. Dail Laughinghouse IV, Laura K. Reynolds, Edward V. Camp y Karl Havens.
Traducido por H. Dail Laughinghouse IV.²

Resumen

Los estuarios económicamente importantes de Florida podrían verse fuertemente afectados por el aumento del nivel del mar y la alteración del flujo de los ríos, ambos causados por el cambio climático. La mayor salinidad resultante, o salinidad del agua, podría perjudicar plantas y animales, alterar el hábitat de peces y aves, y reducir la capacidad de los estuarios para proporcionar servicios tan importantes como la producción de mariscos y la protección de las costas contra la erosión. Esta publicación contiene estudios de casos específicos e información para estudiantes, científicos y agencias ambientales interesadas en comprender cómo los cambios en la salinidad impactan los estuarios de Florida.

Introducción

Los estuarios son uno de los ecosistemas más productivos de la Tierra y sustentan una gran diversidad de plantas, peces, aves y otros animales. Los estuarios son importantes

para la biodiversidad y también tienen un alto valor económico para Florida. Muchas especies que se pescan comercial y recreativamente en las costas de Florida, incluidos camarones, cangrejos, ostras, almejas, langostas, corvinas rojas, róbalos comunes, truchas moteadas, y ciertos meros y pargos, dependen de los estuarios durante al menos una parte de sus ciclos de vida. Puede encontrar más información sobre cómo los estuarios afectan a los peces juveniles en las publicaciones de EDIS #FA250, "How Oyster Reefs Can Affect Finfish Recruitment" y #FA239, "Ecological Influences on Coastal Finfish Recruitment." Las pesquerías marinas dependen de los manglares, marismas y pastos marinos en los estuarios como hábitat de cría, donde la densidad, crecimiento y la supervivencia de los estadios juveniles es mayor que en otras áreas (Lefcheck et al. 2019; Love et al. 2022a, 2022b). Además, las praderas marinas y los manglares de los estuarios ofrecen hábitat para millones de aves y otros animales, al tiempo que proponen servicios humanos críticos como estabilización de las costas y limpieza del agua (Smyth et al. 2022). Estos

1. Este documento, SGEF-218s, es uno de una serie de publicaciones del Department of Soil, Water, and Ecosystem Sciences, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida (UF/IFAS Extension). Fecha de primera publicación: junio 2015. Revisado marzo 2018 y abril 2024. Traducido en febrero 2025. Visite nuestro sitio web EDIS en <https://edis.ifas.ufl.edu>. La versión en inglés de este artículo es SGEF-218, *Climate Change: Effects on Salinity in Florida's Estuaries and Responses of Oysters, Seagrass, and Other Animals and Plant Life*. © 2025 UF/IFAS. Esta publicación está bajo licencia CC BY-NC-ND 4.0.
2. Ashley R. Smyth, profesor asistente, Department of Soil, Water, and Ecosystem Sciences, UF/IFAS Tropical Research and Education Center; H. Dail Laughinghouse, profesor asistente, Agronomy Department, UF/IFAS Fort Lauderdale Research and Education Center; Laura K. Reynolds, profesor asistente, Department of Soil, Water, and Ecosystem Sciences; Edward V. Camp, profesor asistente, School of Fisheries, Forests, and Geomatic Sciences; y Karl Havens, ex director (fallecido), UF/IFAS Extension Florida Sea Grant; UF/IFAS Extension, Gainesville, FL 32611.

son solo algunos de los muchos beneficios que los hábitats costeros, como los estuarios, ofrecen a la población de Florida (Wallace et al. 2023). Una de las principales razones por las que estas áreas son tan valiosas es porque en ellas se unen el agua dulce y salada.

Los estuarios son masas de agua a lo largo de la costa que pueden ser bahías relativamente cerradas o grandes marismas en las desembocaduras de los ríos. Son lugares donde el agua dulce de los ríos se mezcla con el agua salada del mar, creando un lugar con una salinidad intermedia. En promedio, la salinidad del mar abierto es de 35 partes por mil (ppt – sigla en inglés), mientras que la salinidad de los ríos puede variar de 0,1 a 5 ppt. En los estuarios, la salinidad es muy variable debido a los efectos de las mareas y a la variación en el flujo de agua dulce de los ríos (Figura 1).



Figura 1. La salinidad, que se mide normalmente en unidades de partes por mil (ppt – sigla en inglés), es la cantidad de sal presente en el agua. En lagos, manantiales y estanques de agua dulce es cercana de 0. En el océano tiene un promedio de alrededor de 35 ppt, y en los estuarios varía entre menos de 1 y más de 30 ppt. Los organismos que viven en el agua son sensibles a la salinidad y tienden a existir solo dentro de un cierto rango de salinidad.

Crédito: adaptado de Peter Summerlin, Universidad Estatal de

Los organismos que viven en los estuarios (Figura 2 y Figura 3) tienen respuestas diferentes a las variaciones de salinidad. Normalmente existe un gradiente, desde especies que prefieren el agua más dulce en el extremo superior del estuario, río arriba, hasta especies que prefieren agua más salada, río abajo, próxima al océano.

Las plantas y los animales de los estuarios se ven perjudicados por salinidades inusualmente altas o bajas durante períodos prolongados. Una mayor salinidad, una reducción del aporte de nutrientes, y una menor entrada de sedimentos asociados con el caudal extremadamente bajo de los ríos, pueden estresar o causar mortalidad en plantas y animales; disminuir la productividad debido a la falta de nutrientes; y acabar con pantanos debido a la reducción de la entrada de sedimentos. Para las plantas, una salinidad alta puede causar estrés osmótico, pero períodos prolongados de entradas de agua dulce de los ríos también son problemáticos. Con una afluencia de ríos extremadamente alta, la salinidad baja de los estuarios causa mortalidad en organismos marinos; los elevados aportes de nutrientes contribuyen a la proliferación de algas; y el aumento de la entrada de sedimentos asfixia a las praderas marinas y las ostras. En ambos casos, el problema son los fenómenos extremos.

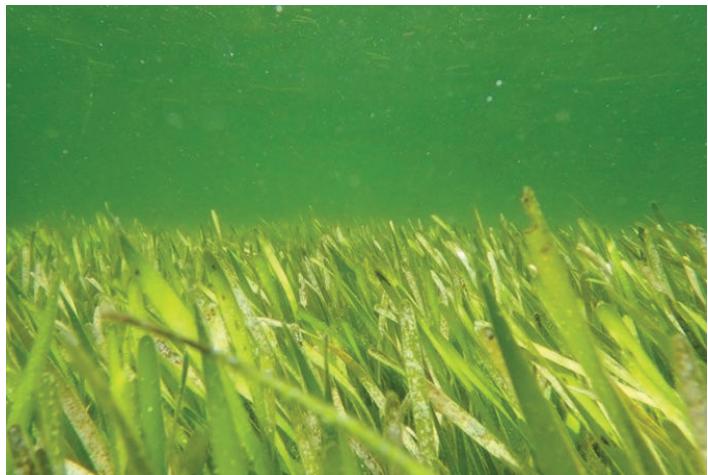


Figura 2. Fotografía de praderas marinas saludables.
Crédito: Laura K. Reynolds, UF/IFAS

Ejemplos de estrés provocado por niveles extremos de salinidad

Los siguientes son ejemplos de daños causados a los estuarios debido tanto a períodos de alta salinidad causado por un aporte extremadamente bajo de agua dulce, como a períodos de baja salinidad debido a un aporte extremadamente alto de agua dulce.



Figura 3. El banco de ostras durante la marea baja, cuando los animales están expuestos al aire. Estos bancos de ostras se denominan bancos de ostras intermareales. En algunos lugares de Florida, donde el agua del estuario es más profunda, las ostras están siempre bajo el agua. Estos bancos de ostras se denominan bancos de ostras submareales.

Crédito: UF/IFAS

Bahía de Florida

La bahía de Florida es un estuario poco profundo de forma triangular en el extremo sur de Florida. Los aportes de agua dulce ingresan principalmente a través de las lluvias y el flujo laminar de los Everglades, que puede variar según la estación, el clima y la gestión. Debido a que la bahía está dividida en cuencas que solo son conectadas por canales, la salinidad dentro de la bahía puede variar significativamente (Rudnick et al. 1999). A fines del verano de 1987, se registró la muerte masiva de pastos marinos en la parte central norte de la bahía de Florida (Zieman et al. 1999). La causa de esa muerte masiva es objeto de debate, pero la hipótesis dominante es que las altas temperaturas y la alta salinidad aumentaron la demanda de oxígeno de las plantas. A medida que las plantas consumían el oxígeno disponible, había menos oxígeno disponible en el sedimento y agua del fondo, lo que provocó la acumulación de sulfuro, que es tóxico para las praderas marinas. A medida que morían y se descomponían, el oxígeno era aún más limitante y el sulfuro tóxico más prevalente (Carlson, Yarbro y Barber 1994). Cuando las praderas marinas mueren, ya no retienen sedimentos y la descomposición del material vegetal libera nutrientes que estaban unidos al tejido vegetal. La gran cantidad de agua turbia y las floraciones recurrentes de algas provocaron la pérdida secundaria de pastos marinos y varios cambios ecológicos, incluida la mortalidad de esponjas y reducciones en la pesca (Durako, Hall y Merello 2001; Peterson et al. 2006). Estas condiciones mejoraron lentamente a lo largo de aproximadamente una década (Durako, Hall y Merello 2001). Sin embargo, en 2015, los investigadores comenzaron a informar una recurrencia:

salinidades elevadas, altos niveles de sulfuro, muerte de praderas marinas y muerte de peces (Hall et al. 2016). Aumentar el flujo de agua dulce a la bahía de Florida a través de alteraciones en la gestión del agua es una sugerencia común para reducir la probabilidad de más eventos de muerte masiva en el futuro.

Bahía de Apalachicola

En el otoño de 2012, la bahía de Apalachicola, ubicada en la región “Big Bend” de Florida, junto a la esquina noreste del Golfo de México, tuvo una rápida disminución en su población de ostras que no se había recuperado hasta el año 2022 (Johnson, Pine y Camp 2022). La disminución en la población de ostras coincidió con salinidades tan altas como las del océano adyacente, causadas por dos años sucesivos de bajos caudales fluviales y un alto esfuerzo pesquero (Camp et al. 2015). También coincidió con altos niveles de depredadores de ostras, como cangrejos y caracoles; parásitos, como gusanos, caracoles y esponjas (Figura 4); y patógenos, como *Perkinsus*, un grupo de protistas parásitos (organismos unicelulares eucarióticos) que infectan a ciertos animales marinos. Las investigaciones mostraron que el colapso de la población de ostras probablemente estaba relacionado con la disminución de la supervivencia de las ostras juveniles (Pine et al. 2015; Johnson et al. 2023). Además, los resultados de los experimentos de campo demuestran que a medida que aumentaba la salinidad en Apalachicola, también lo hacía la presencia de un depredador de ostras llamado taladro de ostras (Kimbrow et al. 2017). Es posible que esta menor supervivencia de las ostras juveniles se haya visto agravada por la alta salinidad u otras condiciones ambientales (Camp et al. 2015; Kimbrow et al. 2017). Sin embargo, los vínculos entre la salinidad y las ostras no están claros (Fisch y Pine 2016), y la supervivencia de las ostras juveniles parece haber permanecido baja en el período 2012-2022 a pesar de las condiciones del agua más normales (Johnson et al. 2023). Parece que la población de ostras en la bahía de Apalachicola pasó a un nivel mucho más bajo (y menos valioso) (Johnson, Pine y Camp 2022). No se sabe qué papel pudo haber desempeñado la alta salinidad en ese cambio poblacional inicial (Johnson et al. 2023), pero es posible que haya tenido alguno, ya que la salinidad y la temperatura son factores ambientales que estructuran las poblaciones de ostras (Love et al. 2021).

Petes, Brown y Knight (2012) documentaron una disminución de las ostras en la bahía de Apalachicola. También descubrieron que, durante una época de entradas reducidas de agua dulce y salinidades elevadas, las ostras sufrieron mortalidad. Atribuyeron las muertes a *Perkinsus*

y sugirieron que la alta salinidad aumentó el crecimiento de *Perkinsus*. El estudio también identificó una situación observada en otras investigaciones: un efecto negativo sinérgico de la alta salinidad y temperatura del agua sobre la salud de las ostras.

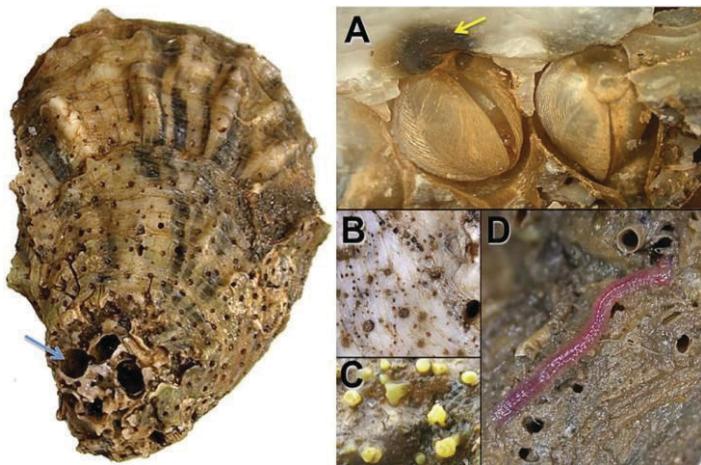


Figura 4. Esta imagen muestra la condición de las ostras después de dos años de una sequía severa, con un bajo caudal del río y una alta salinidad. Las imágenes muestran cómo las ostras han sido parasitadas. El Panel A muestra una almeja parásita que perfora un agujero en la concha de la ostra para alimentarse (en el lugar de la flecha amarilla). El Panel B muestra agujeros más pequeños hechos por esponjas perforadoras y el Panel C muestra las esponjas vivas en una concha. El Panel D muestra un gusano perforador y algunos de los agujeros que hace cuando se alimenta. La imagen más grande de la izquierda muestra grandes agujeros dejados en una concha de ostra por almejas perforadoras (la flecha azul).

Crédito: Andrew Kane, Universidad de Florida

Bahía Biscayne

La bahía Biscayne es un estuario subtropical con bajos niveles de nutrientes ubicado en el sureste de Florida. El crecimiento urbano en el norte de la bahía, las actividades agrícolas en el sur de la bahía y las prácticas de gestión del agua, como el drenaje por canales, han provocado una disminución de la calidad del agua en la región, incluidos cambios en la salinidad y nutrientes. La salinidad en la bahía Biscayne ha aumentado lentamente de estuarina a más salina (Wingard et al. 2004) debido a la disminución del flujo de agua dulce de los ríos naturales y del flujo laminar de los Everglades. Los canales ahora traen agua dulce y nutrientes a la bahía (Cary et al. 2011; Caccia y Boyer 2007), lo que ha provocado floraciones de algas y períodos de bajo oxígeno en la bahía Biscayne que están asociados con la pérdida de los lechos de pastos marinos en la región (Millette et al. 2019). Estas fluctuaciones en la salinidad debido al aporte de agua dulce de los canales también pueden afectar el tamaño y la distribución de los pastos marinos. Las simulaciones de modelos sugieren que una menor salinidad cambiará las especies dominantes de

pastos marinos, lo que tiene consecuencias para la pesca y otros servicios ecosistémicos (Lirman y Cropper 2003).

Las praderas marinas no son las únicas especies marinas afectadas por el cambio de salinidad en la Bahía Biscayne. Existen informes históricos de una población saludable de ostiones americanos (Harlem 1979; Meeder, Harlem y Renshaw 2001). Los datos de pesca anteriores muestran capturas más frecuentes de especies estuarinas, lo que indica condiciones más salobres (Serafy et al. 1997). Sin embargo, la reducción a largo plazo en la descarga de agua dulce asociada con la canalización de Miami ha llevado a una reducción del flujo de agua dulce y a un aumento en las salinidades. Las ostras tienen una tolerancia muy específica a la salinidad, por lo que los cambios de salinidad pueden tener consecuencias graves para su crecimiento y salud. En la Bahía Biscayne, los eventos de alta salinidad se han relacionado con la pérdida de ostras formadoras de arrecifes (Parker et al. 2013). Las ostras que permanecen en la Bahía Biscayne son más pequeñas. Aunque las ostras vivas indican que la población de ostras se está reproduciendo, la falta de ostras más grandes indica una alta mortalidad, probablemente asociada con la alta salinidad (Meeder, Harlem y Renshaw 2001). Desafortunadamente, los cambios en el flujo de agua dulce para un ambiente más salobre mejor para las ostras no restaurarán la población de ostras, ya que falta sustrato duro y otros lugares para que las ostras se establezcan y crezcan (Parker et al. 2013).

Estuario de St. Lucie

El estuario de St. Lucie, ubicado a lo largo de la costa atlántica de Florida, recibe periódicamente grandes descargas de agua dulce del lago Okeechobee a través de un canal que se construyó entre el lago y el estuario en la década de 1960 para el control de inundaciones. Cuando esto sucede, se producen diversos efectos negativos (Sime 2005), incluida la reducción de la disponibilidad de luz debido al material orgánico en el agua, lo que provoca la pérdida de plantas sumergidas, así como impactos en las ostras, los arrecifes de coral, y la diversidad de animales bentónicos.

Las entradas de agua dulce también aportan grandes cantidades de nutrientes. Por lo general, estos no estimulan la proliferación de algas porque el agua se mueve demasiado rápido para que proliferen (Phlips et al. 2012) y los nutrientes se diluyen rápidamente en el estuario, pero en determinadas condiciones se han producido floraciones. El aumento de nutrientes en los estuarios también puede provocar la disminución de los lechos de pastos marinos y

un aumento de la proliferación de macroalgas bentónicas, que pueden resultar problemáticas al emitir olores nocivos, disminuir el oxígeno disuelto al descomponerse, albergar microorganismos patógenos y producir toxinas por parte de las cianobacterias bentónicas (Ford et al. 2018; Ford et al. 2021; Wood et al. 2020; Berthold, Lefler y Laughinghouse 2021; Lefler, Berthold y Laughinghouse 2021).

Cambios climáticos previstos que podrían afectar la salinidad en los estuarios

El cambio climático provocará dos respuestas principales que afectarán directamente la salinidad de los estuarios: (1) alteración del flujo de los ríos y (2) un aumento continuo del nivel del mar. El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC 2019) prevé que el nivel medio global del mar aumentará entre 0,6 a 1,10 metros durante este siglo, y que es “prácticamente seguro” que el nivel del mar seguirá aumentando después de 2100. Si el calentamiento global supera un determinado límite, que se prevé que sea de entre 1,1 y 1,5 °C, podría producirse una pérdida casi total de la capa de hielo de Groenlandia, lo que provocaría un aumento medio global del nivel del mar de unos 6 metros.

Mientras los niveles del mar están subiendo, se espera que el cambio climático afecte el patrón de lluvias y sequías. Wuebbles et al. (2014) ejecutaron 40 modelos climáticos y descubrieron que todos ofrecían predicciones comunes para el futuro: calentamiento de la atmósfera y del suelo, menor humedad relativa en todo Estados Unidos y un aumento en la duración, frecuencia e intensidad de las sequías. Murray, Foster y Prentice (2012) ejecutaron varios modelos climáticos y todos predijeron que el cambio climático y el crecimiento demográfico resultarán en un mayor estrés hídrico en este siglo. Sheffield y Wood (2008) proyectaron que se duplicará la frecuencia de las sequías que durarán entre cuatro y seis meses y se triplicará la frecuencia de las sequías que durarán más de un año.

¿Qué significan estos cambios (alteración del caudal de los ríos y aumento continuo del nivel del mar) para los estuarios y su salinidad? En cuanto al caudal de los ríos, habrá períodos prolongados de bajo caudal durante las sequías y luego períodos cortos de caudal extremadamente alto. Dado que la interacción del agua del océano y del río produce la salinidad de los estuarios, el resultado esperado son largos períodos de mayor salinidad estuarina interrumpidos por períodos cortos con un flujo de agua dulce. El aumento del nivel del mar exacerbará la alta

salinidad durante los períodos de bajo caudal (Figura 5). El aumento del nivel del mar no solo aumentará la salinidad; también aumentará los tiempos de inmersión, lo que significa que las áreas estarán bajo el agua durante períodos más largos.



Figura 5. Ilustración conceptual que muestra las condiciones actuales de la afluencia de agua dulce de los ríos y la incursión de agua de los océanos a un estuario (izquierda) en comparación con una situación futura con un caudal de agua de los ríos reducido y una mayor incursión de agua de los océanos debido al aumento del nivel del mar (derecha). El estuario del futuro es más salado, excepto en épocas de lluvias extremas y de gran afluencia de agua de los ríos. Se prevé que las precipitaciones sean más intensas en el futuro porque una atmósfera más cálida que puede retener más humedad hará que las tormentas sean más intensas.

Crédito: Florida Sea Grant

Cómo los cambios pueden afectar a las plantas y animales de los estuarios

Un futuro en el que el aumento del nivel del mar provoque que agua oceánica más salada entre en los estuarios y sequías más duraderas que provoquen períodos de reducción del aporte de agua dulce, combinados con tiempos de inmersión más prolongados, podrían estresar a los organismos estuarinos. El rango de salinidad puede exceder lo que es óptimo para su crecimiento y lo que pueden tolerar (Figura 6). Las especies que no pueden nadar podrían verse muy reducidas en número y otras podrían migrar para los ríos que alimentan el estuario para llegar a un lugar donde puedan tolerar la salinidad. El aumento del nivel del mar también puede dar lugar a más y diferentes patógenos, plagas y depredadores que afectarán la salud y la supervivencia de las plantas y animales de los estuarios.

Un problema es que la mayoría de los estuarios de Florida, con excepción de las bahías mantenidas por el flujo laminar a través de los Everglades, dependen de ríos que son mucho más estrechos que el estuario, que a menudo se dragan para mantenerlos más profundos para el tráfico de embarcaciones. Esto significa que hay mucho menos espacio en los ríos para que los organismos del estuario lo utilicen si el estuario o la bahía se vuelven más salados

de lo que pueden tolerar. Además, el movimiento de especies desde áreas estuarinas que se vuelven demasiado saladas requiere que haya pasajes disponibles hacia áreas fluviales río arriba y hábitat utilizable. Estos requisitos frecuentemente no se cumplen ya que muchos ríos tienen barreras para el movimiento (presas, alcantarillas u otras estructuras de control del agua) y también cuentan con costas desarrolladas o endurecidas (por ejemplo, con muros de contención o mamparos; Wallace, Camp y Smyth 2022). El término “compresión costera” se utiliza para describir este fenómeno cuando las estructuras humanas impiden la migración de las especies costeras y exprimen sus hábitats.

El aumento del nivel del mar y los cambios asociados en la salinidad y en la inundación de los hábitats costeros también se han relacionado con el colapso de la turba en las marismas de los Everglades (Wilson et al. 2018; Chambers, Steinmuller y Breithaupt 2019). La turba es el material orgánico parcialmente descompuesto que se encuentra en los humedales costeros y es la base sobre la que crecen las plantas de los humedales, como los manglares y las juncas. A medida que aumenta el nivel del mar y estas áreas se vuelven más húmedas y saladas durante períodos más prolongados, las plantas se estresan y mueren. Como resultado, los procesos del ecosistema que normalmente son lentos se aceleran. Un ejemplo de esto es el proceso de descomposición. A medida que esto sucede, esa turba ya no se acumula, sino que se derrumba, dejando aberturas en la pradera del humedal. En este caso, el aumento de la salinidad hace que las plantas mueran. Con la pérdida de plantas para estabilizar la turba, junto con el aumento de la descomposición, la turba eventualmente colapsará.

Existe abundante literatura científica sobre la relación entre la entrada de agua dulce y las subsiguientes cantidades de peces y mariscos capturadas. Algunas investigaciones sugieren que el aumento de la salinidad afectará negativamente a las poblaciones de peces y a las capturas (Jenkins, Conron y Morison 2010). Otras investigaciones sugieren que la reducción de la salinidad no aumentará las capturas de especies como las ostras (Turner 2006), y algunas no encontraron tendencias consistentes entre el flujo de agua dulce y las capturas (Fisch y Pine 2016). En Florida (Green et al. 2006) y en otras partes del mundo (Nordlie 2003; Feyrer et al. 2015), los cambios en las condiciones de salinidad de los estuarios probablemente tendrán algún efecto en las comunidades de peces. Los cambios específicos dependerán de la especie y del estuario, pero en general los patrones más extremos (altos y bajos) de salinidad serán problemáticos para muchas especies y las pesquerías que dependen de ellas.

Si la salinidad de lugares como la bahía de Apalachicola y la bahía de Tampa aumenta a 35 ppt, los depredadores, parásitos y patógenos que habitan en el océano podrán prosperar en los estuarios y probablemente tendrán algún efecto en los ecosistemas. La *Vallisneria americana* y otras especies de plantas acuáticas adaptadas a la baja salinidad en el extremo superior del estuario pueden verse limitadas a un espacio más pequeño o no ser capaces de sobrevivir. Las praderas marinas y macroalgas podrían apoderarse de estos hábitats y afectar la red alimentaria del estuario, lo que afectaría la productividad y la pesca debido a los cambios en la disponibilidad de alimentos. Estos cambios en la comunidad de productores primarios afectarán la productividad de las pesquerías económicamente importantes, lo que en última instancia hará que los estuarios sean muy diferentes de lo que vemos hoy.

Uso y consumo de agua

Una de las grandes incógnitas que afectarán el caudal de los ríos hacia los estuarios es el uso que las personas hacen del agua dulce. En un futuro con más sequías e intrusión de agua salada, es especialmente importante que se utilice el agua de la forma más conservadora posible.

Los distritos de gestión del agua de Florida tienen protocolos y planes para minimizar el desperdicio de agua dulce, y es necesario seguirlos. Una persona puede pensar que somos un estado donde el agua abunda. Sin embargo, la realidad es que nuestros acuíferos se están agotando (es decir, el nivel freático se está reduciendo debido a la extracción de agua subterránea), lo que provoca que los pozos se sequen. Al mismo tiempo, a medida que aumenta el nivel del mar, aumenta la intrusión de agua salada. El agua salada puede propagarse fácilmente a través del agua subterránea, pues es más densa que el agua dulce y forma una cuña debajo del agua dulce. A medida que se agotan nuestros acuíferos y pozos, este nuevo espacio es reemplazado por agua salada. En Hallandale Beach (condado de Broward), el agua salada ha invadido cinco de sus ocho pozos de agua potable.

Este esquema de gestión debería cambiar y podría requerir instalaciones costosas de almacenamiento de agua para capturar parte o toda esa agua para su uso posterior cuando las lluvias sean escasas.

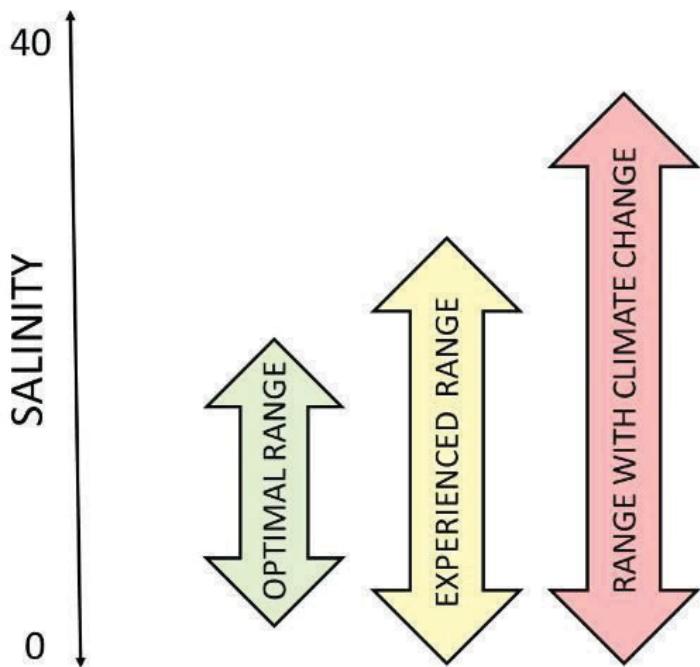


Figura 6. Ilustración conceptual de los rangos de salinidad soportados por plantas y animales en los estuarios. Esta figura compara el rango óptimo para el crecimiento, el rango que encuentran realmente, que incluye algunos períodos de sequía e inundaciones, y el rango que podrían encontrar con el cambio climático cuando haya un nivel del mar más alto y sequías prolongadas.

Crédito: Florida Sea Grant

Otros efectos del cambio climático en los estuarios

Esta publicación se centró en los efectos del cambio climático resultante de la alteración de la salinidad en los estuarios. No consideró algunos de los otros cambios sustanciales que pueden ocurrir y que serán abordados en otras publicaciones.

Esos cambios incluyen la tropicalización. La tropicalización es el movimiento de plantas y animales tropicales y subtropicales hacia el norte debido al aumento de temperatura. Otro cambio que puede ocurrir debido al calentamiento del agua es la intensificación de la proliferación de algas tóxicas y de microorganismos patógenos. El aumento de la temperatura estimula un crecimiento más rápido de esos organismos y sus poblaciones, con posibles efectos negativos para los peces, las ostras, las almejas y las personas que se recrean en el agua o viven cerca de ella. Este tema en particular se trata en “Climate Change and the Occurrence of Harmful Microorganisms in Florida’s Ocean and Coastal Waters” (<https://doi.org/10.32473/edis-sg136-2015>), disponible en EDIS (Havens 2015).

Literatura citada

Berthold, D. E., F. W. Lefler, and H. D. Laughinghouse IV. 2021. “Untangling Filamentous Marine Cyanobacterial Diversity from the Coast of South Florida with the Description of *Vermifilaceae* fam. nov. and Three New Genera: *Leptochromothrix* gen. nov., *Ophiophycus* gen. nov., and *Vermifilum* gen. nov.” *Molecular Phylogenetics and Evolution* 160: 107010. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2020.107010>

Caccia, V. G., and J. N. Boyer. 2007. “A Nutrient Loading Budget for Biscayne Bay, Florida.” *Marine Pollution Bulletin* 54 (7): 994–1008. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2007.02.009>

Carey, R. O., K. W. Migliaccio, and M. T. Brown. 2011. “Nutrient Discharges to Biscayne Bay, Florida: Trends, Loads, and a Pollutant Index.” *Science of the Total Environment* 409 (3): 530–539. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.10.029>

Carlson Jr, P. R., L. A. Yarbro, and T. R. Barber. 1994. “Relationship of Sediment Sulfide to Mortality of *Thalassia testudinum* in Florida Bay.” *Bulletin of Marine Science* 54 (3): 733–746. https://www.researchgate.net/publication/233522335_Relationship_of_Sediment_Sulfide_to_Mortality_of_Thalassia_Testudinum_in_Florida_Bay

Chambers, L. G., H. E. Steinmuller, and J. L. Breithaupt. 2019. “Toward a Mechanistic Understanding of ‘Peat Collapse’ and Its Potential Contribution to Coastal Wetland Loss.” *Ecology* 100 (7): e02720. <https://doi.org/10.1002/ecy.2720>

Doering, P. H., R. H. Chamberlain, and J. M. McMunigal. 2001. “Effects of Simulated Saltwater Intrusions on the Growth and Survival of Wild Celery, *Vallisneria americana*, from the Caloosahatchee Estuary (South Florida).” *Estuaries* 24: 894–903. <https://doi.org/10.2307/1353180>

Durako, M. J., M. O. Hall, and M. Merello. 2001. “Patterns of Change in the Seagrass Dominated Florida Bay Hydroscape.” In *The Everglades, Florida Bay, and Coral Reefs of the Florida Keys: An Ecosystem Sourcebook*, 479–496. CRC Press. <http://dx.doi.org/10.1201/9781420039412-23>

Feyrer, F., J. E. Cloern, L. R. Brown, M. A. Fish, K. A. Hieb, and R. D. Baxter. 2015. “Estuarine fish communities respond to climate variability over both river and ocean basins.” *Global Change Biology* 21 (10): 3608–3619. <https://doi.org/10.1111/gcb.12969>

- Fisch, N. C., and W. E. Pine. 2016. "A Complex Relationship between Freshwater Discharge and Oyster Fishery Catch per Unit Effort in Apalachicola Bay, Florida: An Evaluation from 1960 to 2013." *Journal of Shellfish Research* 35 (4): 809–825. <https://doi.org/10.2983/035.035.0409>
- Ford, A. K., S. Bejarano, M. M. Nugues, P. M. Visser, S. Albert, and S. C. A. Ferse. 2018. "Reefs Under Siege – The Rise, Putative Drivers, and Consequences of Benthic Cyanobacterial Mats." *Frontiers in Marine* 5. <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00018>
- Ford, A. K., P. M. Visser, M. J. van Herk, E. Jongepier, and V. Bonito. 2021. "First Insights into the Impacts of Benthic Cyanobacterial Mats on Fish Herbivory Functions on a Nearshore Coral Reef." *Scientific Reports* 11: 7147. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-84016-z>
- Green, D. P., J. C. Trexler, J. J. Lorenz, C. C. McIvor, and T. Philippi. 2006. "Spatial Patterns of Fish Communities along Two Estuarine Gradients in Southern Florida." *Hydrobiologia* 569: 387–399. <https://doi.org/10.1007/s10750-006-0144-x>
- Hall, M. O., B. T. Furman, M. Merello, and M. J. Durako. 2016. "Recurrence of *Thalassia testudinum* Seagrass Die-off in Florida Bay, USA: Initial Observations." *Marine Ecology Progress Series* 560: 243–249. <https://doi.org/10.3354/meps11923>
- Harlem, P. W. 1979. *Aerial Photographic Interpretation of the Historical Changes in Northern Biscayne Bay, Florida: 1925 to 1976*. Sea Grant Technical Bulletin 40. Miami, FL: University of Miami. Accessed December 2021. <http://palmm.digital.flvc.org/islandora/object/fiu%3A29813>
- Havens, K. E. 2015. "Climate Change and the Occurrence of Harmful Microorganisms in Florida's Ocean and Coastal Waters: SGEF216/SG136, 6/2015." *EDIS* 2015 (5): 6. <https://doi.org/10.32473/edis-sg136-2015>
- IPCC. 2019. "Summary for Policymakers." In *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*, edited by H.- O. Pörtner, D. C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, and N. Weyer, 3–35. Cambridge, UK: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157964.001>
- Jenkins, G. P., S. D. Conron, and A. K. Morison. 2010. "Highly variable recruitment in an estuarine fish is determined by salinity stratification and freshwater flow: Implications of a changing climate." *Marine Ecology Progress Series* 417: 249–261. <https://doi.org/10.3354/meps08806>
- Johnson, F. A., E. V. Camp, R. Gandy, and W. E. Pine. 2023. "Demography of Oyster Pre- and Post-collapse in Apalachicola Bay, Florida, using Stage-based Counts." *Marine and Coastal Fisheries* 15 (3): e10244. <https://doi.org/10.1002/mcf2.10244>
- Johnson, F. A., W. E. Pine III, and E. V. Camp. 2022. "A Cautionary Tale: Management Implications of Critical Transitions in Oyster Fisheries." *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 79 (8): 1269–1281. <https://doi.org/10.1139/cjfas-2021-0133>
- Kimbrough, D. L., J. W. White, H. Tillotson, N. Cox, M. Christopher, O. Stokes-Cawley, S. Yuan, T. J. Pusack, and C. D. Stallings. 2017. "Local and regional stressors interact to drive a salinization-induced outbreak of predators on oyster reefs." *Ecosphere* 8 (11): e01992-15. <https://doi.org/10.1002/ecs2.1992>
- Lefcheck, J. S., B. B. Hughes, A. J. Johnson, B. W. Pfirrmann, D. B. Rasher, A. R. Smyth, B. L. Williams, M. W. Beck, and R. J. Orth. 2019. "Are coastal habitats important nurseries? A meta-analysis." *Conservation Letters* 12 (4): e12645. <https://doi.org/10.1111/conl.12645>
- Lefler, F. W., D. E. Berthold, and H. D. Laughinghouse IV. 2021. "The Occurrence of *Affixifilum* gen. nov. and *Neolyngbya* (Oscillatoriaceae) in South Florida (USA), with the Description of *A. floridanum* Sp. Nov. and *N. biscaynensis* Sp. nov." *Journal of Phycology* 57 (1): 92–110. <https://doi.org/10.1111/jpy.13065>
- Lirman, D., and W. P. Cropper, Jr. 2003. "The Influence of Salinity on Seagrass Growth, Survivorship, and Distribution within Biscayne Bay, Florida: Experimental and Modeling Studies." *Estuaries* 26: 131–141. <https://doi.org/10.1007/BF02691700>
- Love, G., S. Baker, and E. V. Camp. 2021. "Oyster-Predator Dynamics and Climate Change: FA228, 09/2020." *EDIS* 2021 (1). <https://doi.org/10.32473/edis-fa228-2020>
- Love, G., A. Braswell, A. B. Collins, and E. V. Camp. 2022a. "How Oyster Reefs Can Affect Finfish Recruitment: FA250, 12/2022." *EDIS* 2022 (6). <https://doi.org/10.32473/edis-fa250-2022>

- Love, G., A. Braswell, A. B. Collins, and E. V. Camp. 2022b. "Ecological Influences on Coastal Finfish Recruitment: FA239, 5/2022." *EDIS* 2022 (3). <https://doi.org/10.32473/edis-fa239-2022>
- Meeder J. F, P. W. Harlem, and A. Renshaw. 2001. "Historic Creek Watershed Study Final Results: Year 1."
- Millette, N., C. Kelble, A. Linhoss, S. Ashby, L. Visser. 2019. "Using Spatial Variability in the Rate of Change of Chlorophyll *a* to Improve Water Quality Management in a Subtropical Oligotrophic Estuary." *Estuaries and Coasts* 42: 1792–1803. <https://doi.org/10.1007/s12237-019-00610-5>
- Murray, S. J., P. N. Foster, and I. C. Prentice. 2012. "Future Global Water Resources with Respect to Climate Change and Water Withdrawals as Estimated by a Dynamic Global Vegetation Model." *Journal of Hydrology* 448–449: 14–29. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.02.044>
- Nordlie, F. G. 2003. "Fish Communities of Estuarine Salt Marshes of Eastern North America, and Comparisons with Temperate Estuaries of Other Continents." *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 13: 281–325. <https://doi.org/10.1023/B:RFBF.0000033050.51699.84>
- Parker, M., W. Arnold, S. Geiger, P. Gorman, and E. Leone. 2013. "Impacts of Freshwater Management Activities on Eastern Oyster (*Crassostrea virginica*) Density and Recruitment: Recovery and Long-term Stability in Seven Florida Estuaries." *Journal of Shellfish Research* 32 (3): 695–708. <https://doi.org/10.2983/035.032.0311>
- Peterson, B. J., C. M. Chester, F. J. Jochem, and J. W. Fourqurean. 2006. "Potential Role of Sponge Communities in Controlling Phytoplankton Blooms in Florida Bay." *Marine Ecology Progress Series* 328: 93–103. <https://doi.org/10.3354/meps328093>
- Petes, L. E., A. J. Brown, and C. R. Knight. 2012. "Impacts of Upstream Drought and Water Withdrawals on the Health and Survival of Downstream Estuarine Oyster Populations." *Ecology and Evolution* 2 (7): 1712–1724. <https://doi.org/10.1002/ece3.291>
- Phlips, E. J., S. Badylak, J. Hart, D. Haunert, J. Lockwood, K. O-Donnell, D. Sun, P. Viveros, and M. Yilmaz. 2012. "Climatic Influences on Autochthonous and Allochthonous Phytoplankton Blooms in a Subtropical Estuary, St. Lucie Estuary, Florida, USA." *Estuaries and Coasts* 35: 335–352. <https://doi.org/10.1007/s12237-011-9442-2>
- Rudnick, David T., Z. Chen, D. L. Childers, and T. D. Fontaine. 1999. "Phosphorus and Nitrogen Inputs to Florida Bay: The Importance of the Everglades Watershed." *Estuaries* 22: 398–416. <https://doi.org/10.2307/1353207>
- Serafy, J., K. Lindeman, T. Hopkins, and J. Ault. 1997. "Effects of Freshwater Canal Discharge on Fish Assemblages in a Subtropical Bay: Field and Laboratory Observations." *Marine Ecology Progress Series* 160: 161–172. <https://doi.org/10.3354/meps160161>
- Sheffield, J., and E. F. Wood. 2008. "Projected Changes in Drought Occurrence under Future Global Warming from Multi-Model, Multi-Scenario, IPCC AR4 Simulations." *Climate Dynamics* 31: 79–105. <https://doi.org/10.1007/s00382-007-0340-z>
- Shumway, S. 1996. "Natural Environmental Factors." In *The Eastern Oyster *Crassostrea virginica**, edited by V. S. Kennedy, R. I. E. Newell, and A. F. Eble, 467–513. College Park, MD: Maryland Sea Grant, University of Maryland. https://repository.library.noaa.gov/view/noaa/45763/noaa_45763_DS1.pdf
- Sime, P. 2005. "St. Lucie Estuary and Indian River Lagoon Conceptual Ecological Model." *Wetlands* 25: 898–907. [https://doi.org/10.1672/0277-5212\(2005\)025\[0898:SLEAIR\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1672/0277-5212(2005)025[0898:SLEAIR]2.0.CO;2)
- Smyth, A. R., L. K. Reynolds, S. C. Barry, N. C. Stephens, J. T. Patterson, and E. V. Camp. 2022. "Ecosystem Services Provided by Living Shorelines: SL494, 5/2022." *EDIS* (3). <https://doi.org/10.32473/edis-ss707-2022>
- Turner, R. E. 2006. "Will lowering estuarine salinity increase Gulf of Mexico oyster landings?" *Estuaries and Coasts* 29: 345–352. <https://doi.org/10.1007/BF02784984>
- Wallace, C., A. Braswell, M. Clarke, A. Ropicki, T. Wade, F. Asche, A. Smyth, A. Ubeda, and E. V. Camp. 2023. "How Ecosystem Services Are Measured and Why It Matters for Florida: FA252, 2/2023." *EDIS* 2023 (1). <https://doi.org/10.32473/edis-fa252-2023>
- Wallace, C., E. V. Camp, and A. Smyth. 2022. "Oyster Habitat Restoration and Shoreline Protection: FOR376/FR446, 3/2022." *EDIS* 2022 (2). <https://doi.org/10.32473/edis-fr446-2022>

Wilson, B. J., S. Servais, S. P. Charles, S. E. Davis, E. E. Gaiser, J. S. Kominoski, J. H. Richards, and T. G. Troxler. 2018. “Declines in plant productivity drive carbon loss from brackish coastal wetland mesocosms exposed to saltwater intrusion.” *Estuaries and Coasts* 41: 2147–2158. <https://doi.org/10.1007/s12237-018-0438-z>

Wingard, L. G. 2004. “Changing Salinity Patterns in Biscayne Bay, Florida.” Fact Sheet 2004-3108. U.S. Geological Survey. <https://pubs.usgs.gov/fs/2004/3108/report.pdf>

Wood, S. A., L. T. Kelly, K. Bouma-Gregson, J.-F. Humbert, H. D. Laughinghouse IV, J. Lazorchak, T. G. McAllister, et al. 2020. “Toxic Benthic Freshwater Cyanobacterial Proliferations: Challenges and Solutions for Enhancing Knowledge and Improving Monitoring and Mitigation.” *Freshwater Biology* 65 (10): 1824–1842. <https://doi.org/10.1111/fwb.13532>

Wuebbles, D., G. Meehl, K. Hayhoe, T. R. Karl, K. Kunkel, B. Santer, M. Wehner, et al. 2014. “CMIP5 Climate Model Analysis: Climate Extremes in the United States.” *Bulletin of the American Meteorological Society* 95 (4): 571–583. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-12-00172.1>

Zieman, J. C., J. W. Fourqurean, and T. A. Frankovich. 1999. “Seagrass Die-Off in Florida Bay: Long-Term Trends in Abundance and Growth of Turtle Grass: *Thalassia testudinum*.” *Estuaries* 22: 460–470. <https://doi.org/10.2307/1353211>.