



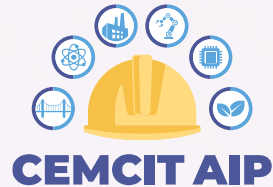
**Laboratorio
Marino Costero**

Proyecto
financiado por



COMPENDIO DE INVESTIGACIONES SOBRE INTRUSIÓN SALINA Y CALIDAD DE AGUA EN AMBIENTES ESTUARINOS

© Gisselle Guerra-Chanis
© Universidad Tecnológica de Panamá
30 páginas 5x5 in.
ISBN978-9962-28-021-7



Fotografías:
Laboratorio Marino Costero

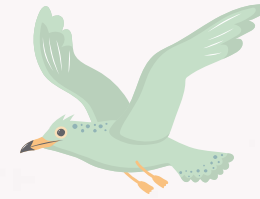
Diagramación:
Daniel Guardia

Dirección:
Laboratorio Marino Costero
Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas
Universidad Tecnológica de Panamá
Campus Central Dr. Víctor Levi Sasso,
Edificio de Laboratorios de Investigación e Innovación,
Ciudad de Panamá, Panamá.

Estudiantes:
Gabriela Mock
Ian Deago
Paul Schalin
Stephanie Arango

Imprenta:
Sunlight Studio
Impreso en Panamá

Marzo 2026
Impreso en Ciudad de Panamá, Panamá.



ÍNDICE

1 ACERCA DE ESTE DOCUMENTO

2 CONCEPTOS CLAVES

4 CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO

5 PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA EN PANAMÁ

7 INTRUSIÓN SALINA EN ESTUARIOS

8 ESCALAS DE TIEMPO

9 METODOLOGÍA

15 CASOS DE ESTUDIO

18 RESULTADOS

22 CONCLUSIONES

23 RECOMENDACIONES

24 AGRADECIMIENTOS

25 REFERENCIAS

26 CONTACTENOS

ACERCA DE ESTE DOCUMENTO

Este compendio incluye información de referencia, metodologías, resultados y recomendaciones relacionados con la hidrodinámica costera.

El documento se realiza dentro de los proyectos de investigación **IDDS 22-34: Estimación de la intrusión salina en estuarios del sitio Ramsar-Bahía de Panamá** y el **FIED 22-07: Determinación del nivel de salinidad y calidad de agua en fuentes para consumo humano**. Ambos proyectos son financiados por la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT), desarrollados por el Laboratorio Marino Costero del Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas (CIHH) de la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP), y administrados por el Centro de Estudios Multidisciplinarios en Ciencias, Ingeniería y Tecnología (CEMCIT AIP).

Esta iniciativa forma parte del conjunto de proyectos del CIHH; del Laboratorio Marino Costero, que buscan aportar a los Objetivos del Desarrollo Sostenible: ODS 13 Acción por el Clima y el ODS 14 Vida Submarina.



CONCEPTOS CLAVES



1. SISTEMAS COSTEROS

Los sistemas costeros son áreas de transición entre el océano y la tierra, donde interactúan procesos físicos, biológicos y humanos. Incluyen playas, estuarios, dunas, manglares, marismas y deltas.

2. HIDRODINÁMICA COSTERA

La hidrodinámica costera estudia el movimiento del agua en zonas costeras, incluyendo corrientes, mareas, oleaje y circulación inducida por el viento.

3. CALIDAD DEL AGUA

La calidad del agua son las condiciones en que se encuentra el agua respecto a características físicas, químicas y biológicas, en su estado natural o después de ser alterada por el accionar humano (Gómez, 2016).

4. VARIABILIDAD CLIMÁTICA

La hidrodinámica costera estudia el movimiento del agua en zonas costeras, incluyendo corrientes, mareas, oleaje y circulación inducida por el viento.

CONCEPTOS CLAVES



5. MAREA

Las mareas son las variaciones periódicas del nivel del mar causadas principalmente por la atracción gravitacional de la Luna y el Sol (Masselink, et al., 2014).

6. OLAS

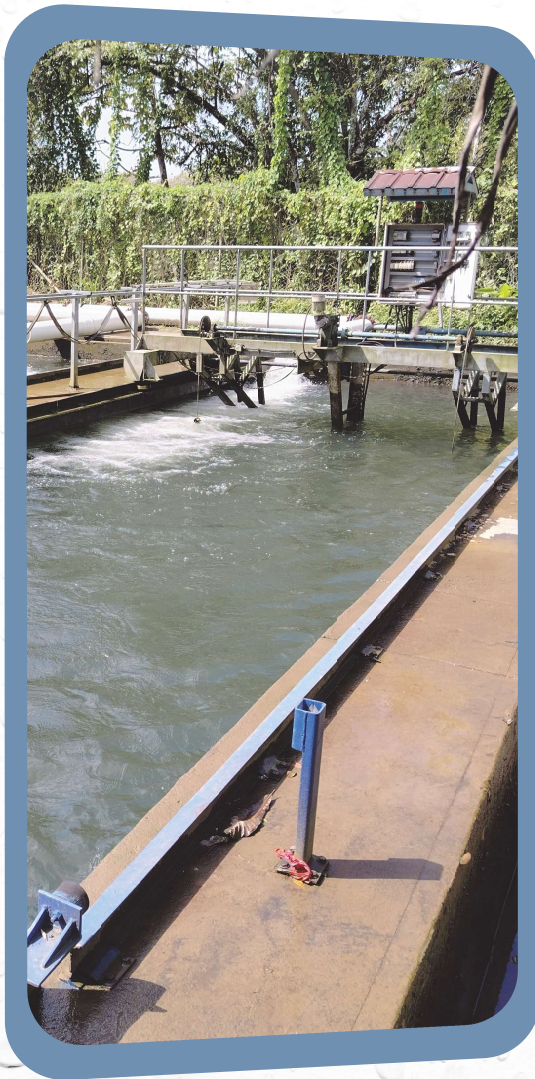
Las olas son elevaciones que se forman en la superficie del agua cuando se perturba su equilibrio por la acción del viento o por el movimiento de algún cuerpo en contacto con ella (Masselink, et al., 2014).

7. ESTUARIOS

Un estuario es un cuerpo de agua parcialmente encerrado que se forma cuando las aguas dulces provenientes de ríos y quebradas fluyen hacia el océano y se mezclan con el agua salada del mar (U.S. EPA, 2025).

8. INTRUSIÓN SALINA

Es el movimiento permanente o temporal del agua salada tierra adentro, desplazando al agua dulce (MacCready, P., & Geyer, W. R., 2010).



CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO

La calidad del agua destinada al consumo humano debe cumplir criterios que garanticen la salud pública, según las directrices internacionales, en especial las de la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Estos criterios se agrupan en parámetros:



MICROBIOLÓGICOS



FÍSICOS



QUÍMICOS



RADIOLÓGICOS.

En Panamá, la calidad del agua potable está regulada por:

REGLAMENTO TÉCNICO 23-395-99 AGUA

**AGUA POTABLE
MINISTERIO DE COMERCIO E INDUSTRIAS**

DIRECCIÓN GENERAL DE NORMAS

PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA EN PANAMÁ



MICROBIOLÓGICOS

Libre de patógenos E. coli y coliformes fecales ausentes en 100 mL.



QUÍMICOS

Nitratos: ≤ 50 mg/L
Arcénico: $\leq 0,01$ mg/L
Plomo: $\leq 0,01$ mg/L
Sodio: 200 mg/L



FÍSICOS

Turbidez: ≤ 5 NTU
Color y olor:
Sin sedimentos, sin olores desagradables.



RADIOACTIVOS

Niveles bajos de radionucleidos



La importancia de la calidad del agua radica en su impacto directo sobre la salud humana, la preservación de los ecosistemas y el desarrollo socioeconómico de un país.

Los principales indicadores de calidad del agua se clasifican en indicadores microbianos, químicos, físicos y radioactivos. Dependiendo de la región, existen indicadores ajustados a las condiciones ambientales, meteorológicas e hidrográficas.

SALINIDAD

El sodio en el agua mide la concentración de iones de sodio, y es un indicador de la salinidad. A mayor cantidad de sodio, mayor es la conductividad eléctrica del agua. Un consumo elevado de sales en el agua puede aumentar los riesgos de enfermedades cardiovasculares e hipertensión si se suman a una dieta de consumo elevado de sodio (Costopoulos, et al. 2025).

En estudios globales, 164 países tienen límites para el nivel de sodio, pero, en su mayoría, son límites que dependen de la aceptabilidad humana y resultan muy altos para la salud humana (Crowther, 2021).

SALINIDAD EN ESTUARIOS

La salinidad en los estuarios es un parámetro fundamental porque regula la mezcla de agua dulce y salada, y define la estructura física y química del ecosistema. Este gradiente controla la estratificación de las aguas, la circulación interna y la disponibilidad de oxígeno y nutrientes, lo que influye directamente en la productividad biológica y la calidad del agua.

Asimismo, la salinidad determina la distribución y la supervivencia de las especies, ya que condiciona qué organismos pueden habitar o reproducirse en estas zonas de transición. Su monitoreo es esencial para la gestión ambiental, pues variaciones abruptas reflejan alteraciones hidrológicas o efectos del cambio climático, y permiten anticipar impactos sobre la biodiversidad, la pesca y los servicios ecosistémicos que los estuarios proveen.



INTRUSIÓN SALINA EN ESTUARIOS

Los siguientes factores modifican la intrusión salina en estuarios, estos pueden aumentar o disminuir la salinidad en el sistema:



MAREAS

Durante la marea alta, el agua salada es empujada hacia dentro del estuario y aumenta la salinidad. En marea baja ocurre lo contrario.



DESCARGA DE AGUA DULCE DE RÍOS

En periodos secos disminuye el caudal del río y penetra más el agua salada en el estuario.



CAMBIOS EN EL NIVEL DEL MAR

El gradiente de presión entre el mar y el estuario puede aumentar la entrada del agua salada si el gradiente es positivo y disminuirla si es negativo.



MAREJADA CICLONICA

Dependiendo de la intensidad y trayectoria, eventos extremos como tormentas pueden empujar volúmenes elevados de agua salada adentro del sistema.

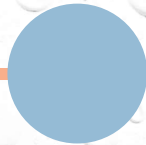


ACTIVIDADES HUMANAS

Represas, extracción de agua dulce subterránea reducen la disponibilidad de agua dulce.

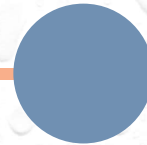
ESCALAS DE TIEMPO

CORTO PLAZO



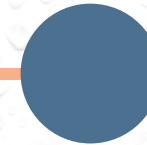
- Ciclos de Marea
- Marejadas

ESTACIONAL



- Variabilidad en la descarga de agua dulce de ríos
- Patrones de Lluvia
- Recarga y Descarga de acuíferos

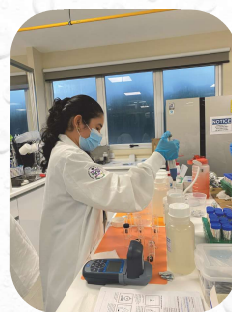
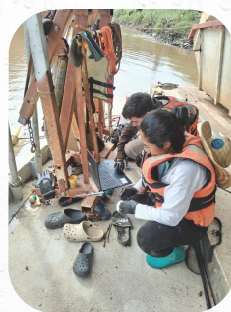
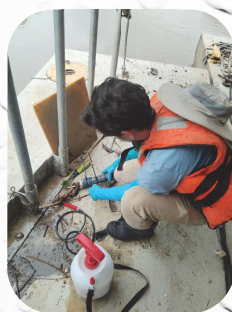
LARGO PLAZO



- Aumento del nivel del mar
- Actividades humanas



METODOLOGÍA



1

INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO DE ANCLAJES

Anclajes instalados en el fondo del río o estuario, con un contrapeso de cemento. Los portasensores de pvc o acero inoxidable para proteger el equipo. Utilizamos cuerda marina por su durabilidad.





2

MEDICIÓN CONTINUA DE SALINIDAD

La frecuencia de medición del sensor de salinidad es de 5 minutos; de esta manera, garantizamos la duración de la memoria y la batería entre cada mantenimiento.



3

COLECTA DE MUESTRAS DE AGUA

Las muestras de agua del río o del estuario se toman en botellas de plástico y de vidrio ámbar de 1 litro. Cada sitio de muestreo tiene un blanco de campo y un duplicado de muestra. Las botellas con la muestra de agua se refrigeran durante el trayecto al laboratorio para su análisis de parámetros fisicoquímicos y de ciertos metales pesados.

4

DESCARGA DE DATOS DE SENSORES

En cada visita a sitio, para la colecta de muestras de agua y el mantenimiento de anclajes, se hace la descarga de los datos del sensor de salinidad. Para esta actividad, desmontamos el sensor y lo conectamos a la computadora portátil mediante un lector óptico.





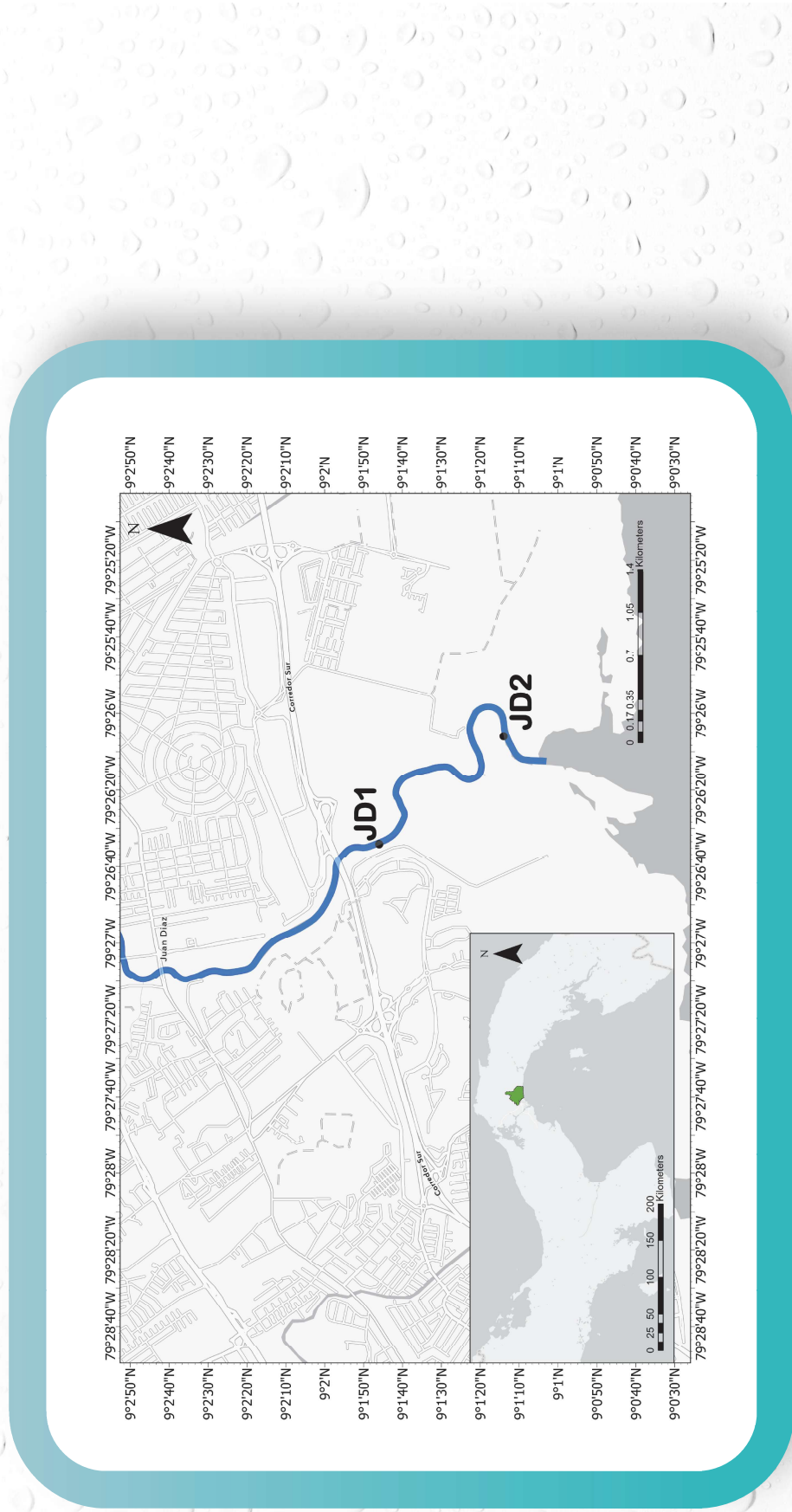
5

ANÁLISIS DE RESULTADOS

A través de programas de análisis numéricos y estadísticos podemos analizar las series de tiempo de los sensores de salinidad y evaluar tendencias en la calidad del agua. La calidad del agua en los ríos y estuarios se analiza por mes, por temporada, y por parámetro.

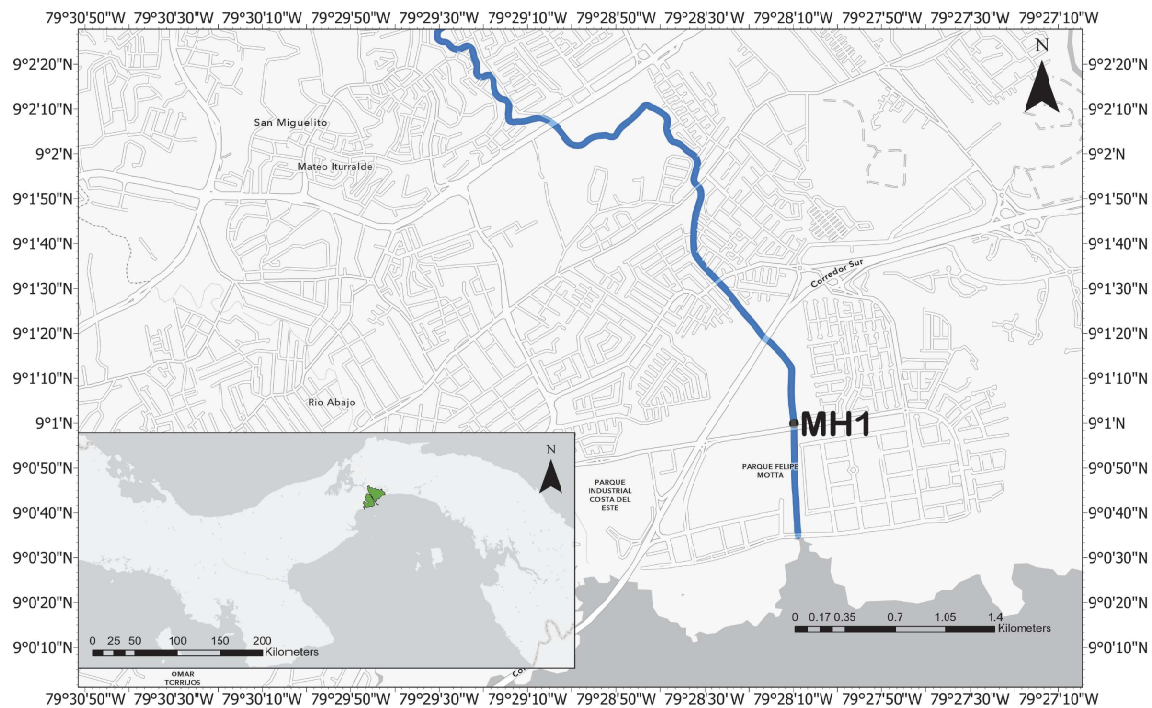
CASOS DE ESTUDIO

RÍO JUANDÍAZ



CASOS DE ESTUDIO

RÍO MATÍAS HERNÁNDEZ



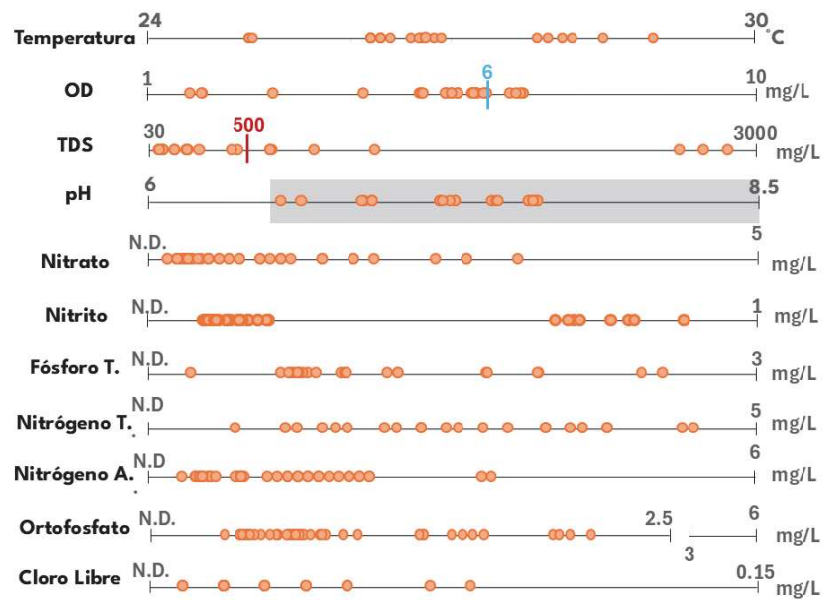
CASOS DE ESTUDIO

RÍO PACORA



RESULTADOS CALIDAD DEL AGUA

JUAN DIAZ



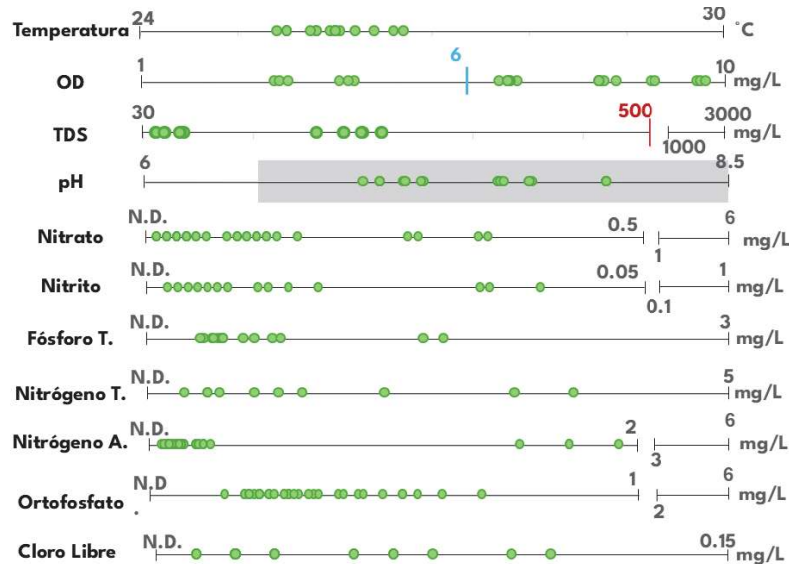
Valor mínimo
Decreto Ejecutivo No. 75 de
4 de junio de 2008

**Valor máximo
permisible**
Decreto Ejecutivo No. 75 de
4 de junio de 2008

Rango permisible
Decreto Ejecutivo No. 75 de
4 de junio de 2008

RESULTADOS CALIDAD DEL AGUA

PACORA



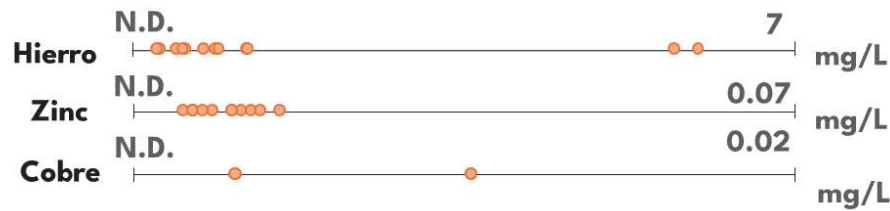
Valor mínimo
Decreto Ejecutivo No. 75 de
4 de junio de 2008

**Valor máximo
permisible**
Decreto Ejecutivo No. 75 de
4 de junio de 2008

Rango permisible
Decreto Ejecutivo No. 75 de
4 de junio de 2008

RESULTADOS METALES

JUANDIAZ



Valor mínimo
Decreto Ejecutivo No. 75 de 4 de junio de 2008

Valor máximo permisible
Decreto Ejecutivo No. 75 de 4 de junio de 2008

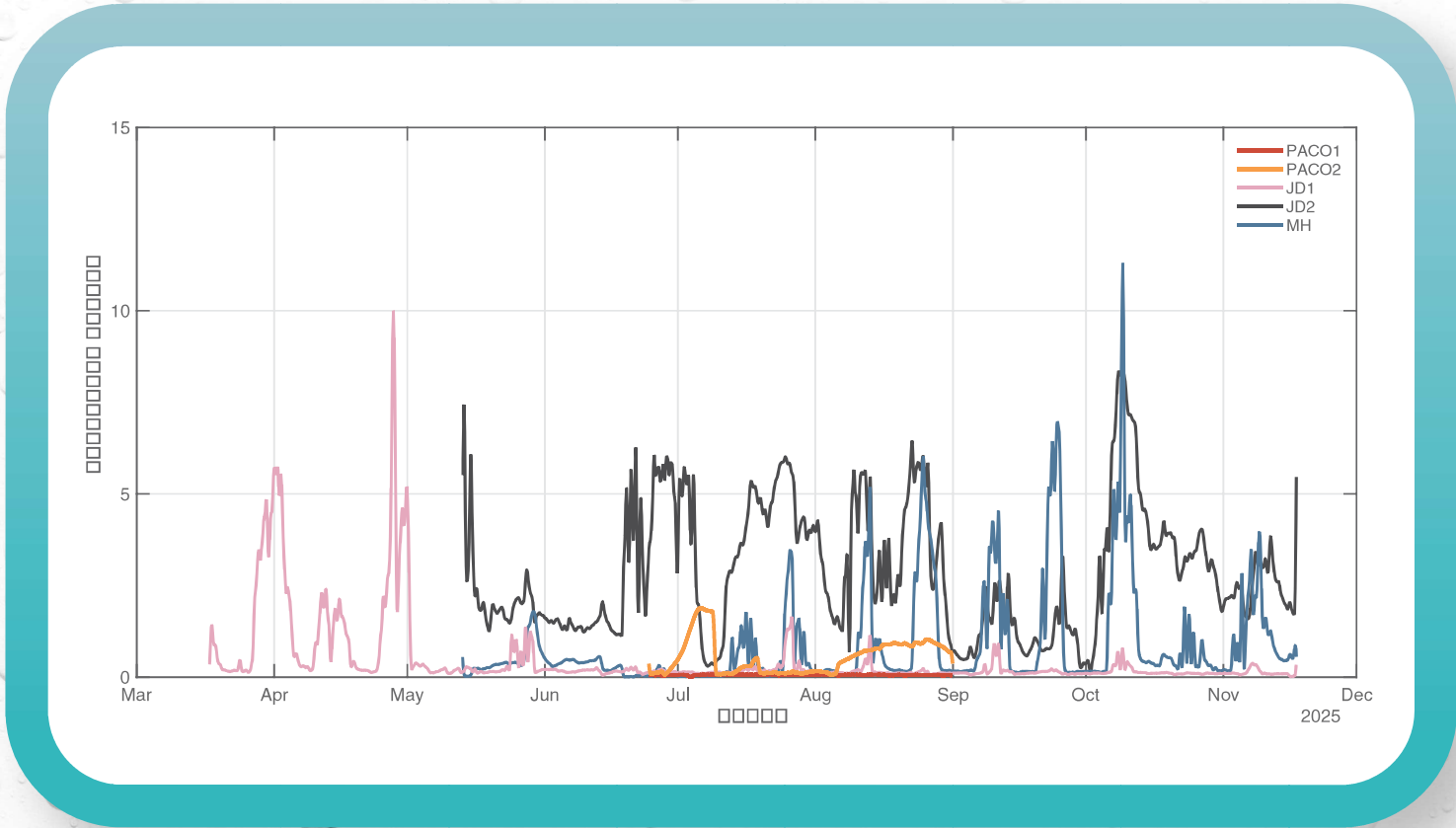
Rango permisible
Decreto Ejecutivo No. 75 de 4 de junio de 2008

PACORA



RESULTADOS

SALINIDAD





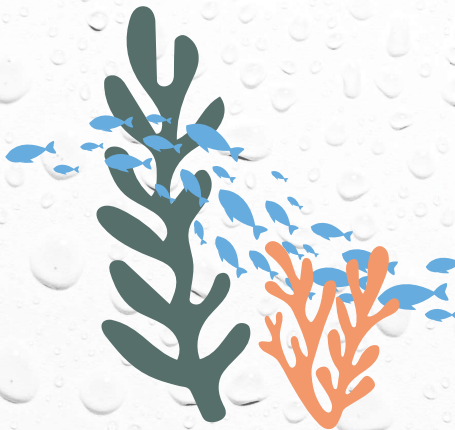
CONCLUSIONES

Las fuentes de agua para consumo humano están bajo presiones naturales y antrópicas. Lo que requiere de programas de monitoreo de calidad de agua más intensivos y adoptados por las entidades responsables. Las mediciones de calidad de agua y de salinidad en la cuenca del río Pacora identifican que la salinidad no llega a la toma de agua de consumo humano, pues en ocasiones el río en su porción media se seca y es incluso transitable. Pero esto debe ser asegurado con mediciones continuas de parámetros fisicoquímicos con el uso de sensores. La principal limitación en este sitio de estudio es el acceso al río, ya que se realiza a través de caminos no transitables. La frecuencia de muestreo debe ser de manera continua.

RECOMENDACIONES



**Laboratorio
Marino Costero**



1

Implementar monitoreo continuo con sensores multiparámetro.
Estaciones de medición permanentes para detectar variaciones a distintas escalas de tiempo.

2

Integrar modelos hidrodinámicos y escenarios climáticos.
Simular eventos extremos y su efecto en la intrusión salina y calidad del agua.

3

Fortalecer alianzas institucionales y protocolos de acceso al campo. Aprovechar la capacidad instalada en el país para generar una base científica para las normativas nacionales.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el apoyo al personal de la Planta Potabilizadora de Pacora del Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales (IDAA), al Ministerio de Ambiente, a la Subestación Área G de Costa del Este de la Policía Nacional de Panamá, al personal de la ONG Marea Verde, de Transporte Las Perlas S.A., y al Sr. Victorio Alcázar, guía técnico para el monitoreo en Pacora.



Esta investigación recibió financiamiento de la SENACYT a través de los proyectos IDDS 22-34 y FIED 22-07, y del Sistema Nacional de Investigación de Panamá.



REFERENCIAS

Holthuijsen, L. H. (2007). Waves in oceanic and coastal waters. Cambridge University Press.
<https://doi.org/10.1017/CBO9780511618536>

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2021).
Climate change 2021: The physical science basis. Cambridge University Press.
<https://doi.org/10.1017/9781009157896>

MacCready, P., & Geyer, W. R. (2010). Advances in estuarine salinity structure and circulation. Annual Review of Marine Science, 2, 35–58.
<https://doi.org/10.1146/annurev-marine-120308-081015>

Crowther, J., Palu, A., Dunning, A., Weatherall, L., Spencer, W., Gala, D., Maganja, D., Kissock, K., Trieu, K., Young, S. L., McCausland, R., Leslie, G., & Webster, J. (2025).
Global drinking water standards lack clear health-based limits for sodium. Nutrients, 17(13), 2190.
<https://doi.org/10.3390/nu17132190>

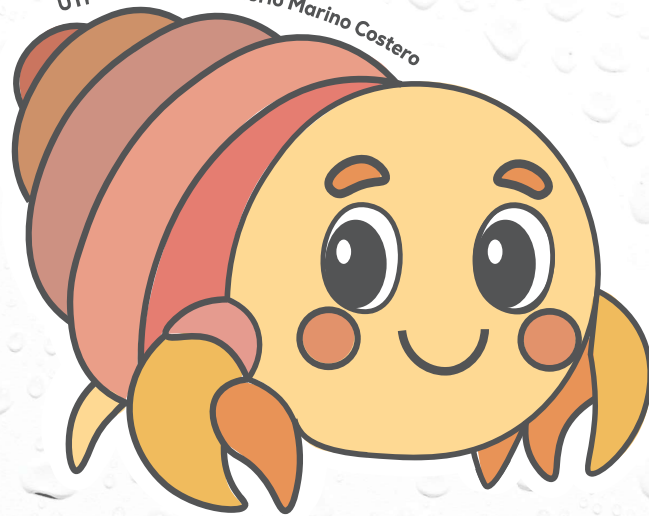
Costopoulos, E., Imamura, A., Khan, N., Butler, A., Millett, C., Hoque, M. A., Vineis, P., Belesova, K., & Khan, A. (2025).
Adverse health outcomes associated with drinking highly saline water: A systematic review. European Journal of Epidemiology, 40, 1307–1322.
<https://doi.org/10.1007/s10654-025-01307-9>

Masselink, G., Hughes, M., & Knight, J. (2014). Introduction to coastal processes and geomorphology. Routledge.
<https://doi.org/10.4324/9780203785461>

U.S. Environmental Protection Agency. (2025). Estuaries and coastal systems.

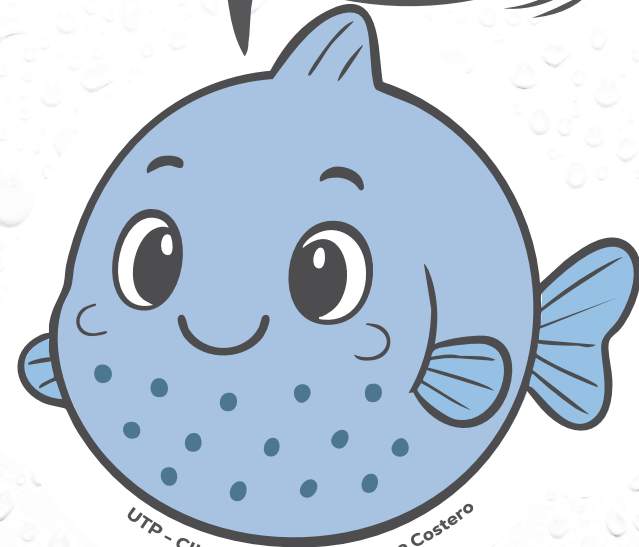
Si quieres
que monitoreemos
la calidad del agua
en algún estuario o río...

UTP - CIHH Laboratorio Marino Costero



...o que hagamos
una jornada de divulgación
en tu institución,
¡no dudes en contactarnos!

UTP - CIHH Laboratorio Marino Costero



CONTÁCTANOS AL:
507 560-3761 | 507 524-8278



Laboratorio Marino Costero



PARA MÁS INFORMACIÓN:

labmarinocostero@gmail.com ; giselle.guerra@utp.ac.pa
<https://cihh.utp.ac.pa/laboratorio-de-investigacion-en-procesos-marino-costeros>

Síguenos en nuestras redes sociales
@labmarinocostero
@cihhutp
@utppanama