

TERCER INFORME

DE LA CONDICIÓN AMBIENTAL

DEL ESTUARIO DE LA BAHÍA DE SAN JUAN

EDICIÓN 2013





Programa del Estuario de la Bahía de San Juan

La Sección 320 de la Ley Federal de Agua Limpia crea el Programa Nacional de Estuarios. Según el modelo de esta ley, los gobernadores de los estados costeros que tengan estuarios pueden someter al Administrador de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) sus estuarios para que obtengan la categoría de importancia nacional y reciban fondos federales dirigidos a investigar, redactar y coordinar la implementación de un plan integral de manejo y conservación estuarina.

El 20 de abril de 1993, el Gobernador de Puerto Rico y el Administrador de la EPA firmaron la designación oficial del Estuario de la Bahía de San Juan como uno de importancia nacional para Estados Unidos. Un año más tarde, en el 1994, comienza operaciones la oficina del Programa del Estuario de la Bahía de San Juan. El mismo es el único encargado de un estuario tropical y fuera de Estados Unidos continental. No obstante, para ser designados como parte del Programa Nacional de Estuarios, los estuarios tienen que tener una importancia económica, ecológica y recreativa única, y a su vez verse amenazados por el desarrollo intenso de la cuenca hidrográfica.

El 4 de agosto de 2000, se publica el Plan Integral de Manejo y Conservación del Estuario de la Bahía de San Juan (CCMP, por sus siglas en inglés) donde se detallan 49 acciones dirigidas a mejorar la calidad de agua y sedimentos, mejorar los hábitats y la vida silvestre, eliminar los desechos acuáticos y promover la educación y participación ciudadana.

El Programa del Estuario de la Bahía de San Juan (PEBSJ) mantiene una cantidad limitada de empleados (un promedio de cinco empleados a tiempo completo) y sus funciones principales son:

- Redactar los planes de trabajo y el presupuesto anual
- Promoción y coordinación de la implementación del CCMP
- Informar a los miembros de su Junta de Directores sobre la respuesta ambiental a este proceso de implementación
- Aglomerar y comunicar a los diferentes sectores de la sociedad los esfuerzos de implementación del CCMP
- Realizar estudios para entender, conservar y manejar los recursos de la cuenca hidrográfica del Estuario de la Bahía de San Juan
- Aumentar el nivel de conocimiento de los ciudadanos acerca del Estuario

Mensaje del Director Ejecutivo

Revolución hídrica

Con motivo del Tercer Informe de la Condición Ambiental del Estuario de la Bahía de San Juan, Edición 2013

“La educación como práctica de la libertad” lee el título de una de las obras maestras de la pedagogía escrita por Paulo Freire. Según este supuesto, el conocimiento— la episteme— logra un cambio transformador en nosotros. Nos educamos para ser libres. La educación y la democracia se basan en el conocimiento como elemento coyuntural de nuestra humanidad. Este supuesto va en línea con el axioma fundacional cartesiano de la era de la razón, donde terminamos puntualmente con los tiempos regidos por el signo medieval del mito, es decir, *cogito ergo sum*— pienso luego existo. El pensamiento es una parte fundamental de lo que nos hace humanos, y lo que a su vez nos marca con el más alto deber y responsabilidad ética hacia nuestro entorno y ecosistema. Fuimos dotados con la capacidad del conocimiento y a su vez con la responsabilidad ineludible de cuidar nuestro entorno y vivir en un ecosistema del que dependemos. Así la definición de sustentabilidad postulada por la Organización de las Naciones Unidas en su Declaración de Estocolmo de junio de 1972, nos lleva a algo tan sencillo que resulta inimaginable que se haya convertido en un imperativo ético: la sustentabilidad es el deber de conservar el planeta para futuras generaciones.

En este contexto, resulta medular el trabajo de investigación científica que mis colegas y amigos estuarinos— el Dr. Jorge Bauzá Ortega, nuestros coordinadores de monitoreo de calidad de agua Ernesto Olivares y Harold Manrique, nuestro equipo de trabajo integrado por Gladys Rivera, Javier Cardona, Eliván Martínez, Roberto Morales, Carmen Rosa Valentín, Ricardo J. Colón, Carola García y nuestros miles de voluntarios y voluntarias, ciudadanas y ciudadanos científicos— realizan para conocer la condición del ecosistema.

El conocimiento nos libera en tanto nos ofrece las herramientas para instrumentar nuestra acción. *Cogito ergo sum*. Conocemos la condición del Estuario de la Bahía de San Juan para guiar nuestras acciones, enfocar nuestros esfuerzos y dirigir nuestra mirada en la dirección correcta, en la dirección que nos lleva a la práctica de la libertad, a la praxis informada que se convierte en acción revolucionaria, en el cambio radical de nuestro entorno, en promover a como dé lugar la restauración del ecosistema más valioso para la economía y ecología de Puerto Rico: el Estuario de la Bahía de San Juan.

Gracias a la investigación y análisis del Dr. Bauzá, tenemos ante nosotros una información que dibuja un mapa, una cartografía y composición del lugar donde nos encontramos; de los retos que tenemos y la ruta que debemos seguir.

Así, el conocimiento es una práctica de la libertad. En el Programa del Estuario de la Bahía de San Juan, la ciencia no es el saber exclusivo de una élite poderosa sino el fundamento de nuestras acciones, el hilo conductor que ilumina nuestra praxis de conservación, el método que transforma nuestra realidad y la convierte de una utopía a un espacio muy específico, aquel que queremos habitar. Un espacio justo, libre de contaminación, una geografía liberadora, un entorno que sustente la biodiversidad y respete su complejidad y singularidad. Somos diversos, y en esta diversidad radica nuestro poder, en la tolerancia a lo otro, a lo que nos resulta ajeno. Esta es la frontera de la democracia— el respeto a la diversidad, a lo impronunciable, a lo ininteligible.

Fomo parte de un equipo de trabajo que día a día laboramos para cambiar nuestra realidad, para transformar nuestro entorno. Un grupo de personas que nos juntamos día a día para instrumentar una revolución, en tanto queremos algo tan sencillo como cuerpos de agua que sustenten la vida, agua que podamos tomar sin necesidad de pagar por el contenido de una botella plástica. Agua que nos dé vida y no enferme nuestras comunidades, como ocurre en este momento en el Caño Martín Peña.

Esta es la revolución que buscamos, la de acceso al agua limpia para todos y todas, agua que no nos enferme. Esta es nuestra lucha diaria y nuestra revolución, la revolución hídrica que busca cuerpos de agua limpios y acceso universal al agua. Sin importar raza, nación, origen, sexo o clase social, estamos hechos de agua y el acceso a ella no es un privilegio de un puñado de países. Espero que logremos la victoria porque de esto depende algo tan sencillo y crítico como nuestra subsistencia en el planeta— el planeta al que llamamos Tierra, pero que en realidad es el planeta del y de Agua.

Javier E. Laureano

MPA, PhD

Director Ejecutivo

Programa del Estuario de la Bahía de San Juan

**Equipo de trabajo del
Programa del Estuario de la Bahía de San Juan**

Dr. Javier E. Laureano, Director Ejecutivo
Dr. Jorge Bauzá-Ortega, Director Científico
Gladys Rivera, Gerente de Participación Ciudadana
Dr. Ricardo J. Colón-Rivera, Ayudante Especial del Director Ejecutivo
Carmen Rosa Valentín-Del Río, Asistente Administrativo

*Esta publicación es posible gracias al auspicio de la
Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos
(EPA, por sus siglas en inglés) bajo el acuerdo CE-99206918
con la Corporación para la Conservación del Estuario de la
Bahía de San Juan. La información ofrecida en este
documento no necesariamente representa la
posición oficial de la EPA.*

Este documento será citado como:

*Bauzá-Ortega, J. (Ed). 2013. Tercer Informe
de la Condición Ambiental del Estuario de
la Bahía de San Juan, Edición 2013.
Programa del Estuario de la Bahía
de San Juan. San Juan, PR.*





Contenido

Prefacio i

Introducción 1

Sección I: Aguas Estuarinas

- Capítulo 1 Cuidando las aguas del Estuario: Programa de Monitoreo de Calidad de Agua por Voluntarios 4
- Capítulo 2 La ostra nativa: una herramienta natural para mejorar la calidad del agua 22

Sección II: Cambio Climático y el Nivel de las Aguas

- Capítulo 3 Estaciones de nivel de agua en el Estuario de la Bahía de San Juan 26
- Capítulo 4 Análisis multidisciplinario para abordar los posibles impactos del cambio climático en el Estuario de la Bahía de San Juan 28

Sección III: Sedimentos y Comunidades Bénticas

- Capítulo 5 Mas allá del Caño Martín Peña: una rehabilitación para todos 34
- Capítulo 6 Reserva Marina Arrecife de la Isla Verde: conservación, preservación y restauración 39
- Capítulo 7 Crónica de una muerte anunciada: agua verde, mortandad de peces y circulación de la Laguna San José 44

Sección IV: Toxicología

- Capítulo 8 Pregúntale a los peces: uso de indicadores ambientales en el Estuario de la Bahía de San Juan 48

Sección V: Flora y Fauna

- Capítulo 9 Crónica de una restauración: la Laguna del Condado 56
- Capítulo 10 Caimanes en el Estuario de la Bahía de San Juan 63

Sección VI: Educación y Participación Ciudadana

- Capítulo 11 Maximizando la participación pública en la implementación de Plan de Manejo Integral del Estuario de la Bahía de San Juan 68

Prefacio

Por Harold Manrique, M.S.
Coordinador Programa de Monitoreo de Calidad de Agua
por Voluntarios del PEBSJ

Compuesto por una cuenca hidrográfica que abarca más de 14 cuerpos de agua, el Estuario de la Bahía de San Juan (Estuario) se caracteriza por sus ciénagas y humedales al oeste, el bosque de mangle de mayor tamaño de Puerto Rico al este, y una red de quebradas en la parte alta de la cuenca que nutren nuestras aguas costaneras dando vida a lo que nos identifica: el Estuario. Rodeado por una cobertura de terreno ampliamente urbano, el Estuario se encuentra constantemente amenazado por descargas ilegales, problemas de manejo de basura, desarrollo con pobre planificación, entre otras. Ante estas amenazas el Programa del Estuario de la Bahía de San Juan (PEBSJ) desarrolló un plan de manejo diseñado para recuperar al máximo la salud ecológica de los ecosistemas que componen el Estuario. Titulado *Plan Integral de Manejo y Conservación del Estuario de la Bahía de San Juan*, el plan describe una serie de acciones agrupadas en 4 categorías: mejorar la calidad de agua y sedimentos, mejorar los hábitats y la vida silvestre, eliminar los desechos acuáticos, y promover la educación y la participación ciudadana. Por medio del presente informe, presentamos los resultados de los proyectos, estudios, investigaciones y toda acción dirigida a cumplir con las acciones de nuestro plan de manejo durante el periodo de 2010 a 2013.

El informe a continuación se forja en una pedagogía interdisciplinaria abarcando en una diversa oferta de tópicos. A través de las próximas páginas descubriremos cuáles son las condiciones actuales de la calidad del agua del Estuario, cómo ha cambiado durante los pasados años y cuáles son sus tendencias hacia el futuro. Mediante la discusión de sus posibles impactos en el Estuario, nos adentramos de lleno al tema del cambio climático, uno trascendental y crítico para nuestras generaciones futuras. También buscamos cómo nuestra fauna nos puede servir como indicadores ambientales o como filtradores para mejorar la calidad de agua. Además observamos cómo esta fauna se ha diversificado con el aumento de presencias de organismos exóticos, como el caimán. También discutiremos las iniciativas de participación ciudadana— que han aumentado exponencialmente durante los últimos años— y cómo hemos transformado a nuestro ciudadano común en un ciudadano científico a través de proyectos educativos, como Guardianes del

Estuario y el Programa de Monitoreo de Calidad de Agua con Voluntarios.

Además, en este informe se ve reflejada la manera en que nuestros esfuerzos de conservación y protección ambiental han contribuido al aumento de áreas protegidas dentro de nuestra cuenca hidrográfica con la institución de la Reserva Estuarina de la Laguna del Condado y la Reserva Marina Arrecife de la Isla verde. También discutiremos la condición actual y futuras expectativas de la rehabilitación ambiental del Caño Martín Peña, un proyecto de crucial importancia en nuestro plan de manejo.

Deseamos resaltar, además, que este informe ha sido creado con la intención de servir como instrumento para las personas que no están familiarizadas con la expresión científica. El mismo se enfoca en el ciudadano común que no ve el desconocimiento como impedimento para aprender sobre los ecosistemas estuarinos que lo rodean. Es por esto que utilizamos términos fáciles y rápidos de comprender como, por ejemplo, nuestros índices de calidad de agua son presentados de manera similar a las notas escolares, entre otros detalles diseñados con nuestro lector en mente.

Este informe es el resultado de años de trabajo colaborativo con una misma idea de sustentabilidad que busca enlaces entre los componentes sociales, ambientales y económicos con el fin de explorar estrategias para conservar y manejar los recursos de la cuenca hidrográfica del Estuario.

El informe cuenta con 6 secciones que cubren un total de 11 capítulos:

La primera sección se titula *Aguas Estuarinas*, y cubre los temas de la condición actual de la calidad del agua del Estuario. Además, por primera vez presentamos un análisis de serie de tiempo el cual permite ver cambios y tendencias en la calidad del agua a través del tiempo utilizando datos que van desde el 2008 hasta el 2013. La sección también cubre el proyecto de la ostra nativa como filtrador natural, llevado a cabo en la Reserva Estuarina de la Laguna del Condado.

En la segunda sección, titulada *Cambio Climático y el Nivel de las Aguas*, se discuten los componentes del Estuario actualmente vulnerables a cambios climáticos y los posibles impactos que este fenómeno traerá al mismo.

La tercera sección se titula *Sedimentos y Comunidades Bénticas*. En la misma se presenta la información más actualizada sobre los esfuerzos que se están llevando a cabo para la rehabilitación del Caño Martín Peña. También desglosamos los esfuerzos de conservación, preservación y restauración de la Reserva Marina Arrecife de la Isla Verde desde una perspectiva actual e histórica. Finalmente, caracterizamos los procesos que se llevan a cabo en cuerpos de agua expuestos a excesos de nutrientes.

La cuarta sección, titulada *Toxicología*, se enfoca en el uso de peces y crustáceos como indicadores de presencia de metales y compuestos orgánicos.

La quinta sección se titula *Flora y Fauna*. Aquí reseñamos la crónica de los esfuerzos de restauración de la Reserva Estuarina de la Laguna del Condado y cuál es su condición actual. Por otra parte, ¿conoces al caimán? En esta sección se expone su presencia en las aguas del Estuario.

La sexta y última sección se titula *Educación y Participación Ciudadana*. En la misma describimos el aumento de la participación pública en la implementación del Plan de manejo Integral del Estuario de la Bahía de San Juan. En esta sección te enterarás de las actividades que llevamos a cabo mano a mano con nuestro grupo de voluntarios, así como las acciones educativas que implementamos a través de las escuelas que buscan aprender del Estuario a través de la enseñanza alternativa.

A través de este informe, convertimos nuestros esfuerzos en conocimiento. ¿Nuestra meta? Transmitirle al ciudadano los frutos de nuestras acciones de tal manera que podamos sentarnos a discutir mejoras o cambios en nuestras estrategias de conservación. De esta manera forjamos un pensamiento crítico encaminado hacia la formulación de soluciones a nuestros problemas ambientales.



hemos transformado a nuestro
ciudadano común en un
ciudadano científico”

CUERPOS DE AGUA DEL ESTUARIO DE LA BAHÍA DE SAN JUAN



Bahía de San Juan



Laguna La Torrecilla



Canal San Antonio



Quebrada Blasina



Laguna del Condado



Quebrada San Antón



Caño Martín Peña



Río Puerto Nuevo



Laguna San José



Canal La Malaria



Canal Suárez



Península La Esperanza

Cuerpo de agua	Área (acres)	Extensión Lineal
Bahía de San Juan	3,280	6.5 millas (10.5 km)
Canal San Antonio	114	1.2 millas (2 km)
Laguna del Condado	102	
Caño Martín Peña	69	3.75 millas (6 km)
Laguna San José*	1,129	
Canal Suárez	63	2.4 millas (3.9 km)
Laguna La Torrecilla	608	
Laguna de Piñones	236	

Tabla 1. Área de superficie y extensión lineal de los cuerpos de agua dentro del sistema del Estuario de la Bahía de San Juan.

* Incluye Laguna Los Corozos al norte.

Introducción

Un estuario es un área costera donde el agua dulce que fluye de los ríos, quebradas y escorrentías pluviales se mezcla con el agua salada proveniente del océano. El sistema del Estuario de la Bahía de San Juan (Estuario) incluye la Bahía de San Juan, la Laguna del Condado, la Laguna San José, la Laguna Los Corozos, la Laguna La Torrecilla y la Laguna de Piñones, así como los canales que interconectan estos cuerpos de agua, es decir, el Canal San Antonio, el Canal Suárez y el Caño Martín Peña. La extensión geográfica para cada cuerpo de agua del Estuario se presenta en la **Tabla 1**.

El agua dulce entra en el sistema desde las quebradas y ríos de la cuenca hidrográfica, incluyendo el sistema Río Piedras/ Río Puerto Nuevo, las quebradas Juan Méndez, San Antón, Canal Blasina y Canal La Malaria. El agua salada entra del Océano Atlántico por la Boca del Morro, El Boquerón en la Laguna del Condado, y Boca de Cangrejos (ver **Mapa 1**, próxima página).

El sistema del Estuario es altamente diverso pues alberga más de 160 especies de aves, 308 especies de plantas, 87 especies de peces y 20 especies de anfibios y reptiles. Entre estos, se encuentran 16 especies consideradas raras y únicas en Puerto Rico. Por otro lado, la calidad del agua y sedimentos del Estuario está íntimamente relacionada con las características naturales del sistema estuarino y el impacto humano que recibe, como el dragado y relleno, el desarrollo de áreas naturales y las descargas domésticas e industriales. En conclusión, como veremos a continuación la intensidad y diversidad de las actividades humanas que se realizan en el área metropolitana han influenciado de muchas formas la calidad de agua y sedimentos en el Estuario, en muchos casos deteriorando sus funciones y valores.



Mapa 1. Cuenca hidrográfica del Estuario de la Bahía de San Juan con los cuerpos de agua dentro del sistema.



1 Aguas Estuarinas

Capítulo 1 Cuidando las aguas del Estuario: Programa de Monitoreo de Calidad de Agua

por Voluntarios	4
Introducción	4
Análisis de datos	5
Observaciones generales	6
Bahía de San Juan	7
Canal San Antonio	8
Laguna del Condado	9
Caño Martín Peña	10
Lagunas San José y Los Corozos	11
Canal Suárez	13
Laguna La Torrecilla	14
Quebrada Blasina	15
Quebrada San Antón	16
Río Puerto Nuevo	17
Canal La Malaria	18
Península La Esperanza	19

Capítulo 2 La ostra nativa: una herramienta natural para mejorar la calidad del agua 22

Capítulo 1

Cuidando las aguas del Estuario: Programa de Monitoreo de Calidad de Agua por Voluntarios

por: Jorge Bauzá-Ortega, Ph.D., Director Científico, Programa del Estuario de la Bahía de San Juan

INTRODUCCIÓN

El monitoreo de indicadores de calidad de agua es muy similar a cuando nos realizamos un examen rutinario de salud. Por ejemplo, el médico nos refiere a un laboratorio clínico para realizarnos unos análisis de sangre. Los resultados de estos análisis son comparados con ciertos estándares o valores esperados, y entonces se determina cómo estamos de salud. Pues el monitoreo de indicadores de calidad de agua funciona de manera similar pero, claro, sin necesidad de un referido médico. Al igual que ocurre con el cuerpo humano, a veces observamos cuerpos de agua que no aparentan tener ningún problema. No es hasta que se miden ciertos parámetros que podemos percibir la presencia de contaminantes. Lo estuarios son cuerpos vivos y como tal hay que monitorearlos.

El Programa de Monitoreo de Calidad de Agua por Voluntarios (PMCAV) es un esfuerzo implementado por el Programa del Estuario de la Bahía de San Juan (PEBSJ) para determinar la calidad del agua en el Estuario de la Bahía de San Juan (Estuario). El mismo consiste de estudios de campo periódicos para medir y coleccionar muestras de agua en 23 puntos o estaciones en el Estuario (**Figura 1**). A estas muestras se le realizan una serie de análisis que nos indican si los cuerpos de agua se encuentran funcionando de manera óptima o si, por el contrario, existen problemas que los afectan. Los parámetros que se analizan en estas muestras son:

- Nutrientes (nitratos, nitritos y fósforo total)
- Bacterias indicadoras de contaminación fecal (ej. coliformes fecales y enterococos)
- Aceites y grasas

- Demanda biológica de oxígeno (BOD)
- Clorofila
- Carbón orgánico total
- Oxígeno disuelto
- Niveles de turbidez
- Transparencia del agua

Además de determinar la condición actual del Estuario y cómo esta cambia a través del tiempo, el PMCAV pretende:

- Identificar y corregir fuentes de contaminación
- Levantar bandera roja en caso de que se observe algún contaminante y de esta forma alertar a las autoridades correspondientes
- Generar una base de datos para estudios y publicaciones científicas
- Educar y adiestrar ciudadanos en técnicas de monitoreo ambiental

El presente informe presenta los análisis del estado actual y de las tendencias en la calidad del agua del Estuario según observaciones realizadas entre el 2008 y el 2013 (6 años). Para el mismo se analizó un total de 18,768 datos de calidad de agua bajo los parámetros antes mencionados.

ANÁLISIS DE DATOS

Para cada cuerpo de agua se promediaron los datos y se compararon con el *valor objetivo*. El valor objetivo o valor meta (**Tabla 1**) es el número con el cual se comparan los datos promediados para determinar si el cuerpo de agua se encuentra saludable o impactado. Por ejemplo, las medidas de oxígeno disuelto deben ser igual o mayor que el valor objetivo de 4 mg/L para determinar que la muestra de agua cumple con niveles aceptables de oxígeno disuelto. En el caso de los niveles de turbidez, los resultados deben estar por debajo del valor objetivo de 10 NTU para cumplir con los requisitos de un cuerpo de agua saludable. De esta forma podemos identificar rápidamente aquellos cuerpos de agua que necesitan atención prioritaria.

Luego, integramos todos los parámetros en un modelo matemático donde se calcula el por ciento y la frecuencia de datos que no cumplieron con el valor objetivo (**Tabla 1**), y la amplitud o la diferencia entre el dato y el valor objetivo. Con este modelo creamos entonces un *índice de calidad de agua*. Este índice es una manera sencilla de otorgarle a cada cuerpo de agua una calificación o nota a base de los resultados del análisis de muestras. En otras palabras, es una forma de traducir las observaciones de campo a términos fáciles y rápidos de comprender. El índice de calidad de agua va desde 0 hasta 100; entre más alta la puntuación mejor será la calidad del agua. Además, empleamos una escala de *calificación* similar a las notas escolares, donde una F representa calidad de agua pobre y una A representa calidad de agua excelente (**Tabla 2**).

Más adelante, utilizamos estos índices de calidad de agua para comparar las puntuaciones obtenidas año tras año, desde el 2008 hasta el 2013. Este análisis, conocido como *serie de tiempo*, permite ver en una gráfica los cambios y tendencias en la calidad del agua a través del tiempo para así poder determinar si el cuerpo de agua está mejorando o empeorando. Luego, realizamos una regresión lineal estadística de primer orden con la cual se calcula el *coeficiente de correlación* (valor de R), el cual nos indica si las tendencias y cambios en la calidad del agua observados en la gráfica son significativas y reales. Mientras más se acerque el valor de R a 1 o a -1, más fuerte es la correlación. En el caso de la serie de tiempo de la Bahía de San Juan, por ejemplo, el valor de R fue de 0.83, un valor positivo y cercano al 1, lo que nos dice que la calidad del agua está mejorando significativamente (**Figura 2**).



Figura 1. Estaciones de muestreo del Programa de Monitoreo de Calidad de Agua por Voluntarios.

Parámetro de calidad de agua	Valor objetivo
Oxígeno disuelto	4 mg/
Turbidez	10 NTU
Transparencia del agua (profundidad Secchi)	1 metro
Aceites y grasas	1 mg/L
Nitrógeno total	1 mg/L
Nitratos y nitritos	0.5 mg/L
Fósforo total	0.5 mg/L
Carbón orgánico total	5 mg/L
Clorofila a	5 mg/L
Demanda biológica de oxígeno	5 mg/L
Coliformes fecales (media geométrica)	200 CFU*/100 ml
Enterococcus (media geométrica)	35 CFU*/100 ml

Tabla 1. Valores objetivos determinados para cada uno de los parámetros de calidad de agua monitoreados en los cuerpos de agua del Estuario de la Bahía de San Juan.

*CFU= Cantidad de colonias bacterianas

ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA	DESCRIPCIÓN	CALIFICACIÓN
95-100	EXCELENTE: la calidad del agua se encuentra protegida. La condición del cuerpo de agua se acerca a condiciones prístinas y naturales.	A
80-94	BUENO: la calidad del agua se encuentra protegida. El cuerpo de agua exhibe un grado de contaminación menor y con poca frecuencia.	B
65-79	REGULAR: la calidad del agua es usualmente protegida. El cuerpo de agua ocasionalmente exhibe niveles de contaminación.	C
45-64	MARGINAL: la calidad del agua está poco protegida. El cuerpo de agua se encuentra frecuentemente amenazado y contaminado.	D
0-44	POBRE: la calidad del agua no está protegida. El cuerpo de agua se encuentra constantemente amenazado y contaminado.	F

Tabla 2. Escala y descripción para determinar la condición de la calidad de agua en los diferentes cuerpos de agua del Estuario de la Bahía de San Juan.

Finalmente, siguiendo la metodología del Reglamento de Estándares de Calidad de Agua de Puerto Rico de la Junta de Calidad Ambiental, utilizamos la *media geométrica* como valor objetivo para los conteos de coliformes fecales y enterococos. La media geométrica es una medida de tendencia central, como el promedio, pero menos sensible a valores extremos. Es decir, en un muestreo podemos tener conteos muy bajos de bacterias en un cuerpo de agua pero luego, después de un evento de precipitación, estos conteos pudieran hasta triplicarse. La media geométrica nos permite “nivelar” estos valores extremos y nos ofrece un valor más representativo de la presencia de estas bacterias en el cuerpo de agua.

OBSERVACIONES GENERALES

Nuestros análisis demuestran que los cuerpos de agua con mejor circulación— como la Laguna del Condado y la Bahía de San Juan— exhiben una mejor calidad de agua. Por el contrario, los cuerpos de agua con poca circulación— como el Caño Martín Peña— están severamente impactados. La calidad del agua de los ríos y quebradas cuenca abajo también está impactada por descargas de aguas usadas sin tratar y aguas de escorrentía que recogen en su trayecto hacia el mar. No obstante, todos los cuerpos de agua presentaron en algún momento valores altos de coliformes fecales y enterococos, particularmente durante eventos de precipitación. Por tal razón, recomendamos evitar contacto directo con las aguas del Estuario durante y después de eventos de precipitación, incluyendo las playas de valor recreativo. Asimismo, es imperativo eliminar todas las fuentes dispersas y precisas de aguas usadas sin tratar, mantener limpio el sistema o la red de recolección de aguas sanitarias, educar a la ciudadanía sobre lo que no se debe desechar por la alcantarillas pluviales y mantener las trampas de grasa de restaurantes y comercios en buen funcionamiento. A continuación presentamos los resultados de los análisis antes mencionados para cada uno de los cuerpos de agua del Estuario.

BAHÍA DE SAN JUAN

La Bahía de San Juan, descrita por los primeros colonizadores como uno de los más esplendorosos puertos del Nuevo Mundo, es el componente más conocido del Estuario. Comprende aproximadamente 6.5 millas (10.5 km) de costas sumamente desarrolladas y se conecta con el Océano Atlántico a través de la Boca del Morro. Actualmente, por sus aguas transita más del 80% de los productos que llegan a nuestra isla y sobre 1 millón de pasajeros en cruceros. Durante la década de 1940, el área sumergida entre Isla de Cabras y el islote El Cañuelo se rellenó para la construcción de instalaciones militares y una carretera elevada. Esto redujo significativamente la circulación y el intercambio de agua entre la bahía y el Océano Atlántico. La calidad del agua de la Bahía de San Juan comenzó a mejorar significativamente en la década de 1980, a partir de la reubicación de las descargas de aguas tratadas que la bahía recibía directamente. Estas se conectaron a un emisario marino que descarga hacia el océano— fuera de la Bahía de San Juan— las aguas previamente tratadas. Hoy día la entrada principal de agua dulce a la bahía es el sistema Río Piedras/Río Puerto Nuevo.

La **Tabla 4** muestra los valores mínimos, máximos y promedios para los datos de la serie entre 2008 y 2013. Los parámetros de calidad de agua cumplieron con los valores objetivos a excepción de los aceites y grasas, donde el valor promedio (1.70 mg/L) excedió en aproximadamente un 40% el valor meta de 1 mg/L. Por lo tanto, la calidad del agua en la Bahía de San Juan es buena y continúa mejorando según se observa en los índices de calidad de agua (**Figura 2** y **Tabla 3**, respectivamente). No obstante, es importante continuar con los esfuerzos de protección para evitar los derrames de combustible producto de la actividad portuaria, y los aportes de otros contaminantes producto de la actividad industrial.

AÑO	ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA	DESCRIPCIÓN	CALIFICACIÓN
2008	84	BUENO	B
2009	89	BUENO	B
2010	87	BUENO	B
2011	95	EXCELENTE	A
2012	100	EXCELENTE	A
2013	94	BUENO	B

Tabla 3. Índices de calidad de agua y sus respectivas calificaciones para la Bahía de San Juan de 2008 a 2013.

Parámetro de calidad de agua	Valor mínimo	Valor máximo	Promedio
Oxígeno disuelto (mg/L)	4.24	9.05	6.27
Turbidez (NTU)	0.00	19.90	2.11
Profundidad Secchi (m)	0.63	5.43	2.09
Aceites y grasas (mg/L)	1.40	2.60	1.70
Nitrógeno total (mg/L)	0.20	0.41	0.27
Nitratos y nitritos (mg/L)	0.01	0.07	0.03
Fósforo total (mg/L)	0.00	0.04	0.02
Carbón orgánico total (mg/L)	0.10	1.01	0.26
Clorofila a (mg/m ³)	0.33	7.08	2.41
Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)	1	6.00	2.18
Coliformes fecales (CFU*/100mL)	5	1,600	152 (32)
Enterococcus (CFU*/100 mL)	<10	2,100	555 (30)

Tabla 4. Datos de calidad de agua de la Bahía de San Juan durante la serie de tiempo de 2008 a 2013. Los promedios en rojo indican incumplimiento con el valor objetivo para ese parámetro. La media geométrica para los conteos bacteriológicos se muestra entre paréntesis.

*CFU= Cantidad de colonias bacterianas

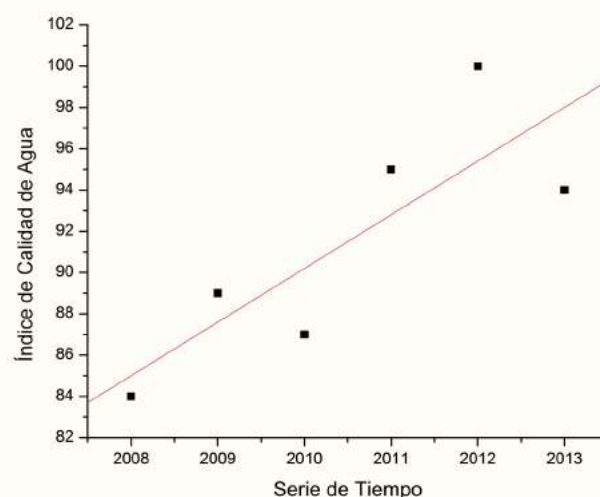


Figura 2. Serie de tiempo y regresión lineal (línea continua, $R=0.83$) para los índices de calidad de agua de la Bahía de San Juan, 2008 a 2013.

CANAL SAN ANTONIO

El Canal San Antonio conecta la Bahía de San Juan al oeste y con la Laguna del Condado hacia el este. Este canal se extiende por 1.2 millas (2 km), donde se ubican un sin número de facilidades portuarias y marinas recreativas. A comienzos del siglo XX, aumentaron las actividades de dragado y relleno en este canal, intensificándose para la década de 1950. Estas actividades transformaron el Canal San Antonio de un canal estrecho, bordeado de manglares y con meandros naturales, a un canal profundo y directo, bordeado principalmente por estructuras y muros de contención. No obstante, en su fondo aún encontramos herbazales marinos que sirven de hábitat a múltiples especies. Igualmente, en sus aguas se observan mamíferos marinos, como el manatí antillano y los delfines.

La **Tabla 6** muestra los valores mínimos, máximos y promedios para los datos de la serie entre 2008 y 2013 de este canal. Los parámetros de calidad de agua promedio que no cumplieron con los valores metas fueron los aceites y grasas (1.75 mg/L) y los enterococos (media geométrica= 46 CFU/100mL). Los índices de calidad de agua para este canal no exhiben una tendencia definida (**Figura 3** y **Tabla 5**, respectivamente). No obstante, la calidad del agua es buena, a excepción del año 2010, cuando exhibió la calidad más pobre (índice de calidad de agua= 53). Al igual que en la Bahía de San Juan, es importante continuar con los esfuerzos para evitar derrames de combustible y otros contaminantes productos de la actividad portuaria.

AÑO	ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA	DESCRIPCIÓN	CALIFICACIÓN
2008	92	BUENO	B
2009	87	BUENO	B
2010	53	MARGINAL	D
2011	100	EXCELENTE	A
2012	100	EXCELENTE	A
2013	91	BUENO	B

Tabla 5. Índices de calidad de agua y sus respectivas calificaciones para el Canal San Antonio de 2008 a 2013.

Parámetro de calidad de agua	Valor mínimo	Valor máximo	Promedio
Oxígeno disuelto (mg/L)	4.38	10.50	6.61
Turbidez (NTU)	0.00	19.10	1.73
Profundidad Secchi (m)	1.10	6.80	3.51
Aceites y grasas (mg/L)	1.40	2.30	1.75
Nitrógeno total (mg/L)	0.20	1.27	0.50
Nitratos y nitritos (mg/L)	BDL**	0.60	0.08
Fósforo total (mg/L)	0.01	0.07	0.04
Carbón orgánico total (mg/L)	0.11	2.33	0.44
Clorofila a (mg/m³)	0.10	3.40	1.48
Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)	1.00	5.00	2.20
Coliformes fecales (CFU*/100mL)	< 2	8,500	1468 (29)
Enterococcus (CFU*/100 mL)	< 10	2,100	384 (46)

Tabla 6. Datos de calidad de agua del Canal San Antonio durante la serie de tiempo de 2008 a 2013. Los promedios en rojo indican incumplimiento con el valor objetivo para ese parámetro. La media geométrica para los conteos bacteriológicos se muestra entre paréntesis.

*CFU= Cantidad de colonias bacterianas

**BDL= Bajo los límites del método analítico

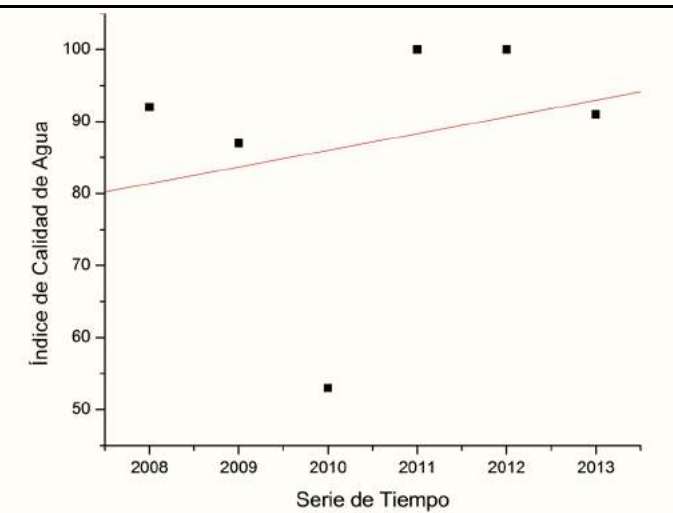


Figura 3. Serie de tiempo y regresión lineal (línea continua, R=0.25) para los índices de calidad de agua del Canal San Antonio, 2008 a 2013.

LAGUNA DEL CONDADO

La Laguna del Condado cubre un área de aproximadamente 102 acres (0.42 km²) en la porción noreste del Estuario. Se conecta con el Océano Atlántico en el área conocida como El Boquerón— al este del Fuerte de San Gerónimo— y con la Bahía de San Juan por el oeste a través del Canal San Antonio. Además, esta laguna se encuentra rodeada en parte por hoteles y condominios residenciales en su costa norte, y contiene una playa arenosa de uso recreativo al norte y franjas de mangle hacia el noreste y sureste. Según registros oficiales, la Laguna del Condado fue el primer cuerpo de agua en ser impactado y alterado por el humano en todo el sistema del Estuario. No obstante, hoy día contiene la más alta diversidad de especies acuáticas del todo el sistema, sustentando además actividades recreativas y económicas de importancia. Por esta razón, en el año 2013 fue designada como reserva natural mediante la Ley 112-2013.

Los datos de calidad de agua de la Laguna del Condado (**Tabla 8**) cumplen en su mayoría con los valores objetivos a excepción de los aceites y grasas (promedio= 1.80 mg/L) y los enterococos (media geométrica= 42 CFU/100 mL). Según demuestran los índices, la calidad del agua es buena o excelente (**Tabla 7 y Figura 4**). Esto es producto de la construcción de un sistema de alcantarillado sanitario en el 1969 para dar servicio a las estructuras que descargaban allí aguas sin tratar, y de la eliminación de las descargas ilícitas por la Junta de Calidad Ambiental a finales de los años 70. Además, por la Boca del Boquerón hay un flujo neto de 2.2 millones de metros cúbicos (m³) de agua salada limpia del Océano Atlántico que entran a la Laguna del Condado y el Canal San Antonio (Ellis y Gómez 1976).

AÑO	ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA	DESCRIPCIÓN	CALIFICACIÓN
2008	89	BUENO	B
2009	89	BUENO	B
2010	97	EXCELENTE	A
2011	91	BUENO	B
2012	100	EXCELENTE	A
2013	95	EXCELENTE	A

Tabla 7. Índices de calidad de agua y sus respectivas calificaciones para la Laguna del Condado de 2008 a 2013.

Parámetro de calidad de agua	Valor mínimo	Valor máximo	Promedio
Oxígeno disuelto (mg/L)	3.76	7.89	6.41
Turbidez (NTU)	0.00	16.00	1.40
Profundidad Secchi (m)	1.01	Fondo	2.49
Aceites y grasas (mg/L)	1.50	2.30	1.80
Nitrógeno total (mg/L)	BDL**	0.49	0.31
Nitratos y nitritos (mg/L)	0.01	1.80	0.17
Fósforo total (mg/L)	BDL**	0.05	0.02
Carbón orgánico total (mg/L)	0.09	2.15	0.36
Clorofila a (mg/m ³)	0.11	2.00	0.72
Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)	1.00	6.00	2.00
Coliformes fecales (CFU*/100mL)	< 2	350	69 (20)
Enterococcus (CFU*/100 mL)	< 10	2,400	742 (42)

Tabla 8. Datos de calidad de agua de la Laguna del Condado durante la serie de tiempo de 2008 a 2013. Los promedios en rojo indican incumplimiento con el valor objetivo para ese parámetro. La media geométrica para los conteos bacteriológicos se muestra entre paréntesis.

*CFU= Cantidad de colonias bacterianas

** BDL= Bajo los límites de detección del método analítico

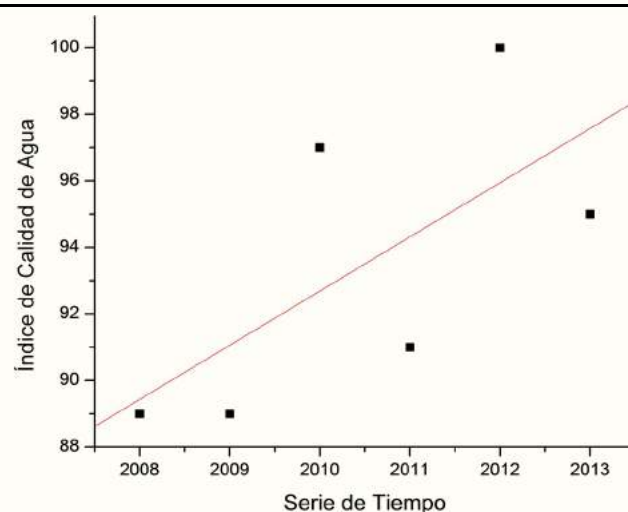


Figura 4. Serie de tiempo y regresión lineal (línea continua, R=67) para los índices de calidad de agua de la Laguna del Condado, 2008 a 2013.

CAÑO MARTÍN PEÑA

El Caño Martín Peña mide aproximadamente 3.75 millas (6 km) de largo y conecta la Bahía de San Juan al oeste con la Laguna San José hacia el este. Durante muchos años el Caño Martín Peña ha recibido un gran impacto por el desarrollo residencial intenso en su cuenca, y por la falta de una infraestructura adecuada para el manejo de aguas sanitarias y desperdicios sólidos domésticos. Hace algunos años la mitad oeste del caño fue dragada para utilizarse como canal de navegación y transporte público entre el área de Hato Rey y la Isleta de San Juan. Este segmento del caño está bordeado por manglares y en sus márgenes se ubica el Parque Lineal Enrique Martí Coll. Sin embargo, el segmento oriental del Caño Martín Peña— que conduce hacia la Laguna San José— se encuentra severamente obstruido, exhibiendo una transición de un cuerpo de agua abierto a un pantano. Dicha transición responde principalmente a la acumulación de sedimentos y desechos acuáticos, y al crecimiento de maleza acuática.

La mayoría de los parámetros de calidad de agua medidos en el Caño Martín Peña no cumplen con los valores objetivos (Tabla 10). Resaltan en éste los conteos bacteriológicos altos, alcanzando hasta 120,000 y 200,000 colonias de enterococos y coliformes fecales, respectivamente, por cada 100 mL de agua. Además, se caracteriza por presentar bajas concentraciones de oxígeno disuelto (promedio= 2.25 mg/L). Sin embargo, aunque la calidad del agua en el Caño Martín Peña es muy pobre, podemos observar una mejoría en los índices de calidad de agua calculados entre el 2008 y el 2013 (Tabla 9 y Figura 5). Es posible que la instalación del sistema de recolección de aguas usadas por succión y estación al vacío liderado por la Corporación para el Desarrollo Integral de la Península de Cantera haya contribuido a este mejoramiento, pues el mismo evita desbordamientos de aguas sanitarias sin tratar hacia el Caño Martín Peña.

AÑO	ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA	DESCRIPCIÓN	CALIFICACIÓN
2008	19	POBRE	F
2009	14	POBRE	F
2010	40	POBRE	F
2011	23	POBRE	F
2012	29	POBRE	F
2013	33	POBRE	F

Tabla 9. Índices de calidad de agua y sus respectivas calificaciones para el Caño Martín Peña de 2008 a 2013.

Parámetro de calidad de agua	Valor mínimo	Valor máximo	Promedio
Oxígeno disuelto (mg/L)	0.06	9.12	2.25
Turbidez (NTU)	0.00	33.80	12.66
Profundidad Secchi (m)	0.31	1.67	0.78
Aceites y grasas (mg/L)	1.40	14.10	3.45
Nitrógeno total (mg/L)	0.28	5.20	2.83
Nitratos y nitritos (mg/L)	BDL**	1.87	0.50
Fósforo total (mg/L)	0.43	1.01	0.65
Carbón orgánico total (mg/L)	1.00	6.83	3.64
Clorofila a (mg/m³)	0.38	19.20	4.27
Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)	2.00	19.00	6.68
Coliformes fecales (CFU*/100mL)	2,100	200,000	76,364 (22,361)
Enterococcus (CFU*/100 mL)	1,100	120,000	38,556 (101,130)

Tabla 10. Datos de calidad de agua del Caño Martín Peña durante la serie de tiempo de 2008 a 2013. Los promedios en rojo indican incumplimiento con el valor objetivo para ese parámetro. La media geométrica para los conteos bacteriológicos se muestra entre paréntesis.

*CFU= Cantidad de colonias bacterianas
** BDL= Bajo los límites de detección del método analítico

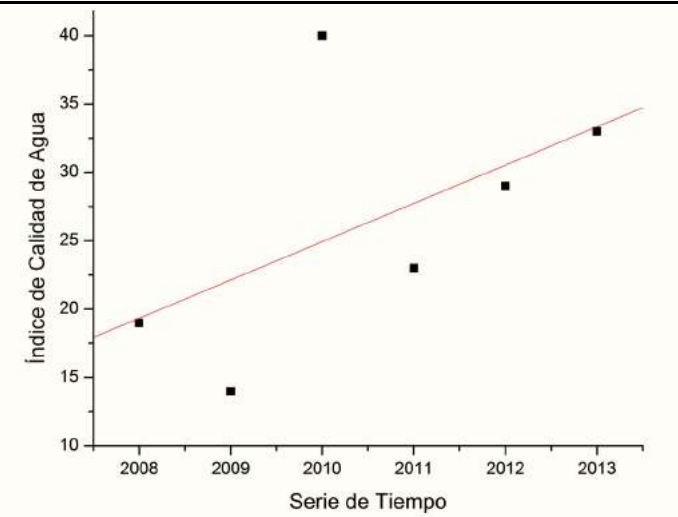


Figura 5. Serie de tiempo y regresión lineal (línea continua, R=0.55) para los índices de calidad de agua del Caño Martín Peña, 2008 a 2013.

LAGUNAS SAN JOSÉ Y LOS COROZOS

Las lagunas San José y Los Corozos están localizadas en el centro del sistema estuarino y ocupan aproximadamente 1,129 acres (475 ha). Al no tener una salida directa al Océano Atlántico, estas lagunas son las menos influenciadas por las mareas. Además, en el segmento este— hacia el Caño Martín Peña— el intercambio de agua se ve severamente limitado por la acumulación de basura, la sedimentación y el crecimiento de la maleza acuática. La Laguna Los Corozos, por su parte, se encuentra hacia el noroeste y recibe descargas directas de la estación de bombas de la avenida Baldorioty de Castro. La Laguna San José, por otro lado, sustenta una de las mejores pescas recreativas en Puerto Rico, pues en sus aguas se practica la pesca y liberación del sábalo (*Megalops atlanticus*) — una especie de gran valor deportivo pues ofrece una pelea intensa y de mucho reto al pescador deportivo. Las lagunas San José y Los Corozos intercambian sus aguas con el Océano Atlántico a través del Canal Suárez.

La **Tabla 13** y la **Tabla 14** presentan los valores mínimos, máximos y promedios para la serie de tiempo de 2008 a 2013. La Laguna San José presentó los valores más altos de fósforo total (promedio= 13.18 mg/L y máximo de 78.29 mg/L) de todos los cuerpos de agua monitoreados bajo este programa. Otros parámetros que no cumplieron con los valores objetivos en la Laguna San José fueron aceites y grasas, nitrógeno total, carbón orgánico total, clorofila, coliformes fecales y enterococos (**Tabla 13**). En general, la calidad del agua en la Laguna San José (**Tabla 11**) ha disminuido durante la serie de tiempo de 2008 a 2013 (**Figura 6**, $R = -0.44$). Por otro lado, la Laguna Los Corozos presentó valores altos de turbidez (hasta 79 NTU), aceites y grasas, clorofila, coliformes fecales y enterococos (**Tabla 14**). No obstante, los índices de calidad de agua para la Laguna Los Corozos demuestran una mejoría en la calidad del agua durante la serie de tiempo de 2008 a 2013 (**Tabla 12** y **Figura 7**, $R = 0.65$). Se espera que la calidad del agua en ambas lagunas mejore significativamente una vez se complete el dragado de restauración del Caño Martín Peña.

AÑO	ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA	DESCRIPCIÓN	CALIFICACIÓN
2008	67	REGULAR	C
2009	57	MARGINAL	D
2010	36	POBRE	F
2011	55	MARGINAL	D
2012	49	MARGINAL	D
2013	51	MARGINAL	D

Tabla 11. Índices de calidad de agua y sus respectivas calificaciones para la Laguna San José de 2008 a 2013.

AÑO	ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA	DESCRIPCIÓN	CALIFICACIÓN
2008	49	MARGINAL	D
2009	60	MARGINAL	D
2010	44	POBRE	F
2011	53	MARGINAL	D
2012	60	MARGINAL	D
2013	69	REGULAR	C

Tabla 12. Índices de calidad de agua y sus respectivas calificaciones para la Laguna Los Corozos de 2008 a 2013.

Parámetro de calidad de agua	Valor mínimo	Valor máximo	Promedio
Oxígeno disuelto (mg/L)	1.71	13.44	6.17
Turbidez (NTU)	0.00	33.20	6.27
Profundidad Secchi (m)	0.10	1.99	1.05
Aceites y grasas (mg/L)	1.50	2.00	1.78
Nitrógeno total (mg/L)	0.50	24.31	1.81
Nitratos y nitritos (mg/L)	0.01	6.60	0.23
Fósforo total (mg/L)	0.06	78.29	13.18
Carbón orgánico total (mg/L)	3.24	10.77	5.53
Clorofila a (mg/m³)	0.62	103	19.74
Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)	0.20	7.00	3.36
Coliformes fecales (CFU*/100mL)	< 2	14,000	2,459 (503)
Enterococcus (CFU*/100 mL)	< 10	1,500	321 (109)

Tabla 13. Datos de calidad de agua de la Laguna San José durante la serie de tiempo de 2008 a 2013. Los promedios en rojo indican incumplimiento con el valor objetivo para ese parámetro. La media geométrica para los conteos bacteriológicos se muestra entre paréntesis.

*CFU= Cantidad de colonias bacterianas

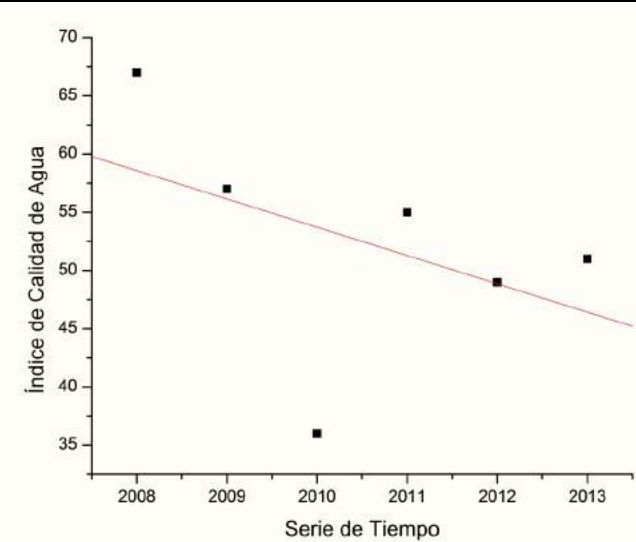


Figura 6. Serie de tiempo y regresión lineal (línea continua, R= -0.44) para los índices de calidad de agua de la Laguna San José, 2008 a 2013.

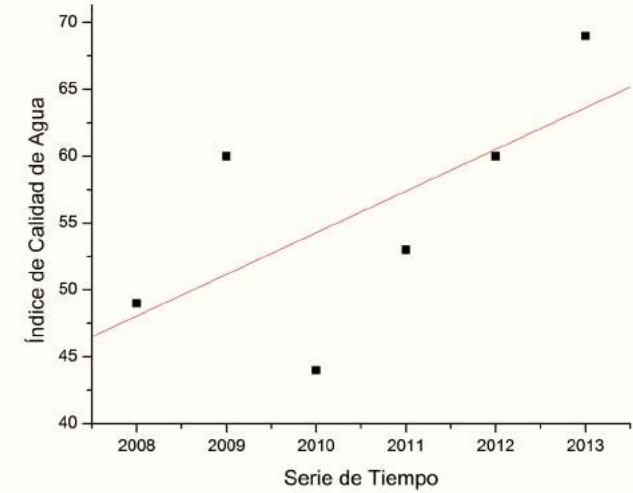


Figura 7. Serie de tiempo y regresión lineal (línea continua, R=0.65) para los índices de calidad de agua de la Laguna Los Corozos, 2008 a 2013.

Parámetro de calidad de agua	Valor mínimo	Valor máximo	Promedio
Oxígeno disuelto (mg/L)	2.22	15.14	7.94
Turbidez (NTU)	0.00	79	14.48
Profundidad Secchi (m)	0.32	2.70	0.88
Aceites y grasas (mg/L)	1.40	3.20	1.90
Nitrógeno total (mg/L)	0.50	2.04	1.29
Nitratos y nitritos (mg/L)	BDL**	0.03	0.05
Fósforo total (mg/L)	0.10	0.21	0.16
Carbón orgánico total (mg/L)	2.67	6.12	4.18
Clorofila a (mg/m³)	3.57	62.60	17.79
Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)	0.15	10	3.01
Coliformes fecales (CFU*/100mL)	23	4,300	884 (379)
Enterococcus (CFU*/100 mL)	< 10	440	86 (37)

Tabla 14. Datos de calidad de agua de la Laguna Los Corozos durante la serie de tiempo de 2008 a 2013. Los promedios en rojo indican incumplimiento con el valor objetivo para ese parámetro. La media geométrica para los conteos bacteriológicos se muestra entre paréntesis.

*CFU= Cantidad de colonias bacterianas

** BDL= Bajo los límites de detección del método analítico

CANAL SUÁREZ

El Canal Suárez se extiende a lo largo de unas 2.4 millas (3.9 km), conecta La Laguna San José con la Laguna La Torrecilla y está poblado en su mayoría por manglares. Además, existen humedales herbáceos adyacentes al canal. Hasta el siglo XIX, este cuerpo de agua se conocía como el Canal de la Pasa. Entre 1820 y 1830 fue dragado con equipo rudimentario para permitir el intercambio comercial y la venta de productos agrícolas entre el valle aluvial del Río Grande de Loíza y la Isleta de San Juan. Las dimensiones actuales del Canal Suárez son producto de actividades de dragado realizadas entre 1962 y 1967. Actualmente, y como resultado del cierre parcial del Caño Martín Peña, este canal es el medio principal de intercambio y reemplazo de aguas de las lagunas San José y Los Corozos.

La **Tabla 16** muestra los valores mínimos, máximos y promedios para los datos de la serie entre 2008 y 2013. Los valores promedio para aceites y grasas (1.68 mg/L), clorofila (11.27 mg/m³), coliformes fecales (media geométrica= 286 CFU/100mL) y enterococos (media geométrica= 78 CFU/100mL) exceden los valores objetivos. La calidad del agua en el Canal Suárez se está deteriorando cada vez más con el paso de los años, según se muestra en la disminución de los índices de calidad de agua (**Tabla 15**) y los resultados de la regresión lineal (**Figura 8**, $R = -0.58$). Desafortunadamente existen descargas de aguas sanitarias crudas en varios puntos a lo largo del Canal Suárez. No obstante, es probable que la franja de mangles que bordea este cuerpo de agua evita que la calidad del agua sea aún peor de lo observado, pues las raíces y sedimentos del manglar actúan como sistemas naturales de purificación de agua.

AÑO	ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA	DESCRIPCIÓN	CALIFICACIÓN
2008	78	REGULAR	C
2009	78	REGULAR	C
2010	48	MARGINAL	D
2011	53	MARGINAL	D
2012	69	REGULAR	C
2013	53	MARGINAL	D

Tabla 15. Índices de calidad de agua y sus respectivas calificaciones para el Canal Suárez de 2008 a 2013.

Parámetro de calidad de agua	Valor mínimo	Valor máximo	Promedio
Oxígeno disuelto (mg/L)	0.09	10.70	5.13
Turbidez (NTU)	0.00	18	2.74
Profundidad Secchi (m)	0.14	2.06	1.39
Aceites y grasas (mg/L)	1.40	3.00	1.68
Nitrógeno total (mg/L)	0.28	1.78	0.77
Nitratos y nitritos (mg/L)	0.01	0.28	0.08
Fósforo total (mg/L)	0.06	0.93	0.26
Carbón orgánico total (mg/L)	1.45	7.62	4.07
Clorofila a (mg/m ³)	1.14	30.10	11.27
Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)	2.00	11.00	4.14
Coliformes fecales (CFU*/100mL)	5.00	5,300	872 (286)
Enterococcus (CFU*/100 mL)	< 10	2,200	248 (78)

Tabla 16. Datos de calidad de agua del Canal Suárez durante la serie de tiempo de 2008 a 2013. Los promedios en rojo indican incumplimiento con el valor objetivo para ese parámetro. La media geométrica para los conteos bacteriológicos se muestra entre paréntesis.

*CFU= Cantidad de colonias bacterianas

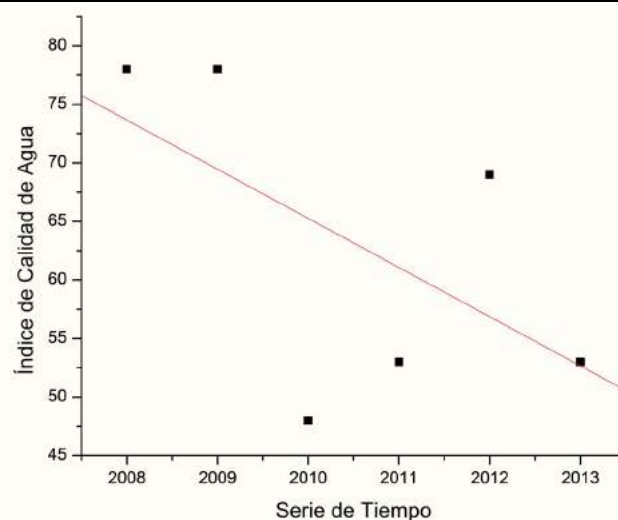


Figura 8. Serie de tiempo y regresión lineal (línea continua, $R = -0.58$) para los índices de calidad de agua del Canal Suárez, 2008 a 2013.

LAGUNA LA TORRECILLA

La Laguna La Torrecilla recibe agua del Océano Atlántico a través de una salida estrecha en Boca de Cangrejos. Esta laguna tiene un área de superficie de 608 acres (246 ha) y está mayormente rodeada de manglares. Es el tercer cuerpo de agua de mayor extensión en todo el sistema del Estuario. La Laguna La Torrecilla está localizada en una planicie de inundación importante, y posee casi todos los tipos de humedales emergentes encontrados en Puerto Rico. Junto con el Bosque de Piñones, la Laguna La Torrecilla contiene el bosque de mangle más grande de Puerto Rico.

La **Tabla 18** exhibe los valores mínimos, máximos y promedios para la serie de tiempo de 2008 a 2013. Los parámetros de calidad de agua que incumplen con los valores objetivos fueron aceites y grasas (promedio= 2.10 mg/L), clorofila (promedio= 7.61 mg/L), demanda bioquímica de oxígeno (promedio= 12.20 mg/L), coliformes fecales (media geométrica= 274 CFU/100 mL) y enterococos (media geométrica= 134 CFU/100 mL). La regresión lineal de la **Figura 9** ($R= -0.23$) demuestra una ligera disminución en los índices de calidad de agua (**Tabla 17**). Al igual que en otros cuerpos de agua, hay que eliminar las fuentes precisas y dispersas de aguas sanitarias sin tratar. No obstante, como en el caso del Canal Suárez, la franja de manglar que bordea este cuerpo de agua probablemente ayuda a que la calidad del agua no sea peor de lo observado.

AÑO	ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA	DESCRIPCIÓN	CALIFICACIÓN
2008	66	REGULAR	C
2009	63	MARGINAL	D
2010	60	MARGINAL	D
2011	37	POBRE	F
2012	75	REGULAR	C
2013	52	MARGINAL	D

Tabla 17. Índices de calidad de agua y sus respectivas calificaciones para la Laguna La Torrecilla de 2008 a 2013.

Parámetro de calidad de agua	Valor mínimo	Valor máximo	Promedio
Oxígeno disuelto (mg/L)	0.08	26.10	4.92
Turbidez (NTU)	0.00	79.30	5.73
Profundidad Secchi (m)	0.02	2.86	1.33
Aceites y grasas (mg/L)	1.22	5.30	2.10
Nitrógeno total (mg/L)	0.30	2.30	1.00
Nitratos y nitritos (mg/L)	BDL**	0.28	0.08
Fósforo total (mg/L)	0.02	0.44	0.14
Carbón orgánico total (mg/L)	0.10	24.60	3.85
Clorofila a (mg/m ³)	1.06	27.90	7.61
Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)	1	16.90	12.20
Coliformes fecales (CFU*/100mL)	2	53,000	2,795 (274)
Enterococcus (CFU*/100 mL)	10	14,000	1,023 (134)

Tabla 18. Datos de calidad de agua de la Laguna La Torrecilla durante la serie de tiempo de 2008 a 2013. Los promedios en rojo indican incumplimiento con el valor objetivo para ese parámetro. La media geométrica para los conteos bacteriológicos se muestra entre paréntesis.

*CFU= Cantidad de colonias bacterianas

** BDL= Bajo los límites de detección del método analítico

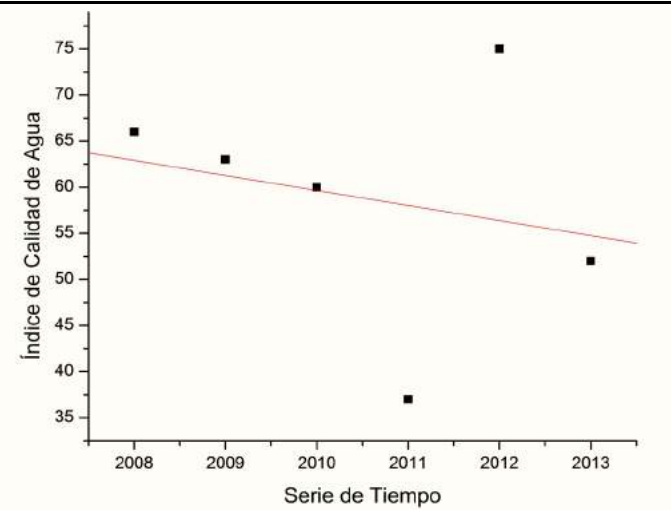


Figura 9. Serie de tiempo y regresión lineal (línea continua, $R= -0.23$) para los índices de calidad de agua de la Laguna La Torrecilla, 2008 a 2013.

QUEBRADA BLASINA

La Quebrada Blasina es un cuerpo de agua dulce que se extiende por unos 6 km, desde la Carretera PR-3 hasta su punto de descarga en la Laguna La Torrecilla al sur. Su área de captación es de unos 22 km² y recoge aguas de escorrentías del casco urbano de Carolina (Quiñones 2014). Frecuentemente se detectan descargas no autorizadas de aguas sanitarias no tratadas, lo cual impacta severamente la calidad del agua de este sistema. La Quebrada Blasina está canalizada en algunos segmentos, a excepción de los márgenes bordeados por manglar que conducen hacia la Laguna La Torrecilla.

La **Tabla 20** muestra los valores mínimos, máximos y promedios para los datos de la serie entre 2008 y 2013. Los parámetros de calidad de agua que no cumplieron con los valores objetivos fueron los promedios para oxígeno disuelto (1.62 mg/L), turbidez (14.85 m), aceites y grasas (1.58 mg/L), nitrógeno total (1.24 mg/L), demanda bioquímica de oxígeno (5.09 mg/L), coliformes fecales (media geométrica= 3,694 CFU/100 mL) y enterococos (media geométrica= 811 CFU/100 mL). Según demuestra el análisis de regresión lineal realizado a los índices de calidad de agua (**Tabla 19**), la calidad del agua ha ido empeorando (**Figura 10**, $R = -0.48$). Este es uno de los cuerpos de agua más fuertemente impactados del Estuario y sobre el cual urge pronta atención para eliminar las descargas de aguas sanitarias no autorizadas.

AÑO	ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA	DESCRIPCIÓN	CALIFICACIÓN
2008	39	POBRE	F
2009	38	POBRE	F
2010	43	POBRE	F
2011	45	MARGINAL	D
2012	19	POBRE	F
2013	33	POBRE	F

Tabla 19. Índices de calidad de agua y sus respectivas calificaciones para la Quebrada Blasina de 2008 a 2013.

Parámetro de calidad de agua	Valor mínimo	Valor máximo	Promedio
Oxígeno disuelto (mg/L)	0.21	6.55	1.62
Turbidez (NTU)	0.20	101	14.85
Profundidad Secchi (m)	0.11	1.81	0.85
Aceites y grasas (mg/L)	BDL**	1.90	1.58
Nitrógeno total (mg/L)	0.79	1.59	1.24
Nitratos y nitritos (mg/L)	0.10	0.55	0.27
Fósforo total (mg/L)	0.14	1.48	0.36
Carbón orgánico total (mg/L)	1.58	6.74	4.15
Clorofila a (mg/m ³)	0.60	8.89	2.37
Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)	1.00	11	5.09
Coliformes fecales (CFU*/100mL)	290	16,000	6,363 (3,694)
Enterococcus (CFU*/100 mL)	120	11,000	2,076 (811)

Tabla 20. Datos de calidad de agua de la Quebrada Blasina durante la serie de tiempo de 2008 a 2013. Los promedios en rojo indican incumplimiento con el valor objetivo para ese parámetro. La media geométrica para los conteos bacteriológicos se muestra entre paréntesis.

*CFU= Cantidad de colonias bacterianas

** BDL= Bajo los límites de detección del método analítico

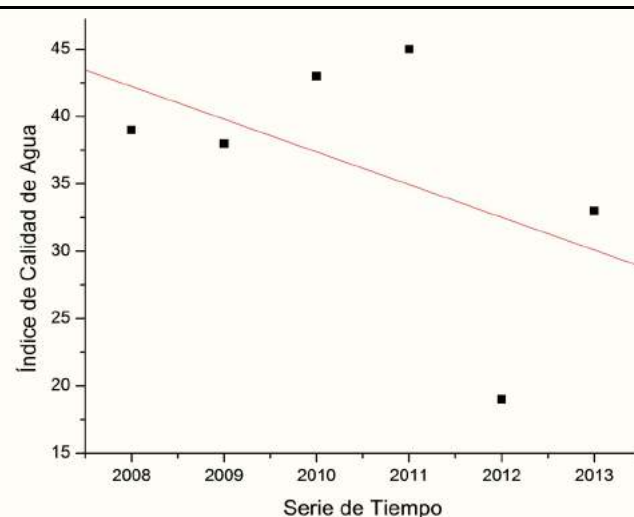


Figura 10. Serie de tiempo y regresión lineal (línea continua, $R = -0.48$) para los índices de calidad de agua de la Quebrada Blasina, 2008 a 2013.

QUEBRADA SAN ANTÓN

La Quebrada San Antón es uno de los cuerpos de agua que descarga hacia la Laguna San José. Esta quebrada comienza en Trujillo Alto y capta las aguas de escorrentías de los municipios de San Juan y Carolina. Parte de la Quebrada San Antón está canalizada hasta el área donde se conecta con la porción sureste de la Laguna San José, donde se encuentra bordeada por manglares.

La **Tabla 22** exhibe los valores mínimos, máximos y promedios para la serie de tiempo de 2008 a 2013. Prácticamente todos los parámetros incumplen con los valores objetivos de calidad de agua. Llama la atención particularmente los conteos sumamente elevados de coliformes fecales (media geométrica= 11,322 CFU/100 mL) y enterococos (media geométrica= 4,167 CFU/100 mL). La calidad del agua de la Quebrada San Antón es muy pobre, es decir, el cuerpo de agua se encuentra constantemente amenazado y contaminado (**Tabla 21**). No existe una tendencia significativa en los índices de calidad de agua a través de la serie de 2008 a 2013 (**Figura 11**, $R = -0.12$). La Quebrada San Antón ejemplifica el grado de impacto y contaminación que sufren muchas quebradas urbanas y que a su vez impactan los estuarios donde descargan. Es importante eliminar las fuentes precisas y dispersas de contaminación a nivel de cuenca. Asimismo, se recomienda realizar trabajos de limpieza y mantenimiento en los márgenes de esta quebrada.

AÑO	ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA	DESCRIPCIÓN	CALIFICACIÓN
2008	29	POBRE	F
2009	33	POBRE	F
2010	40	POBRE	F
2011	26	POBRE	F
2012	29	POBRE	F
2013	32	POBRE	F

Tabla 21. Índices de calidad de agua y sus respectivas calificaciones para la Quebrada San Antón de 2008 a 2013.

Parámetro de calidad de agua	Valor mínimo	Valor máximo	Promedio
Oxígeno disuelto (mg/L)	0.11	6.71	3.34
Turbidez (NTU)	0.00	41	7.21
Profundidad Secchi (m)	0.22	2.41	1.19
Aceites y grasas (mg/L)	1.50	2.90	1.98
Nitrógeno total (mg/L)	0.62	3.47	1.05
Nitratos y nitritos (mg/L)	0.01	0.82	0.48
Fósforo total (mg/L)	0.07	0.40	0.17
Carbón orgánico total (mg/L)	2.30	9.06	5.07
Clorofila a (mg/m³)	0.36	40.80	6.77
Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)	2	21	7.50
Coliformes fecales (CFU*/100mL)	900	2,000,000	137,200 (11,322)
Enterococcus (CFU*/100 mL)	230	88,000	17,588 (4,167)

Tabla 22. Datos de calidad de agua de la Quebrada San Antón durante la serie de tiempo de 2008 a 2013. Los promedios en rojo indican incumplimiento con el valor objetivo para ese parámetro. La media geométrica para los conteos bacteriológicos se muestra entre paréntesis.

*CFU= Cantidad de colonias bacterianas

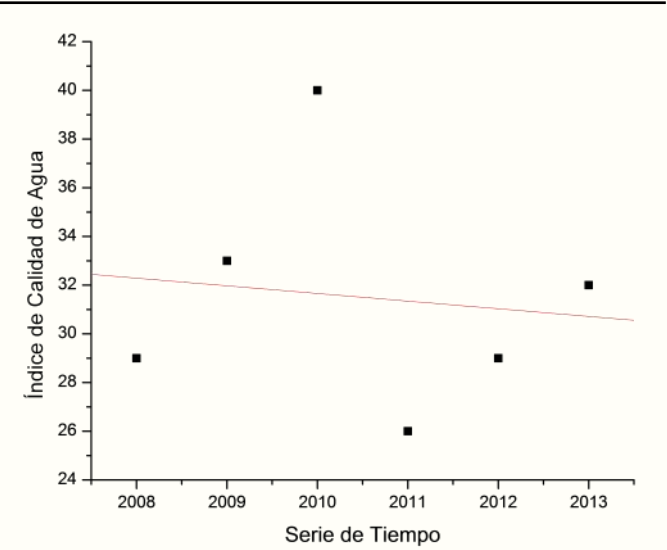


Figura 11. Serie de tiempo y regresión lineal (línea continua, $R = -0.12$) para los índices de calidad de agua de la Quebrada San Antón, 2008 a 2013.

RÍO PUERTO NUEVO

El sistema del Río Piedras y el Río Puerto Nuevo representa la fuente principal de agua dulce de la Bahía de San Juan. Estas aguas comienzan su recorrido en el Barrio Caimito (San Juan) a una elevación de entre 426 pies y 590 pies (130-180 metros) de altura. Su longitud aproximada es de 9.9 millas (16 km) y su cuenca hidrográfica capta aguas de escorrentía alrededor de unas 24 millas cuadradas (62 km²). El Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos dragó la porción baja del Río Puerto Nuevo como parte de un proyecto iniciado en 1994 para el control de inundaciones. No obstante, este proyecto pretende canalizar con concreto unas 9.5 millas (15 km) de este río, construir un canal de tierra de 1.7 millas (2.7 km) y crear dos cuencas o áreas de captación. Se espera que estas modificaciones alteren significativamente la hidrología, las tasas de sedimentación y las descargas de contaminantes tanto en el Río Puerto Nuevo como en su punto de encuentro con la Bahía de San Juan.

La **Tabla 24** presenta los valores mínimos, máximos y promedios para la serie de tiempo de 2008 a 2013. Los parámetros de calidad de agua más críticos para el Río Puerto Nuevo fueron las coliformes fecales (media geométrica= 7,362 CFU/100mL), los enterococos (media geométrica= 1,657 CFU/100 mL), los altos niveles de turbidez (14.69 m) y los bajos niveles de oxígeno disuelto (3.82 mg/L). No obstante, aunque la calidad del agua aún es pobre, está se encuentra mejorando según la regresión lineal de los índices de calidad de agua (**Tabla 23** y **Figura 12**, $R=0.88$). Estos resultados demuestran el problema de contaminación que sufren los ríos urbanos aguas abajo, que a su vez se traducen en problemas de contaminación en los estuarios. Es importante eliminar las fuentes precisas y dispersas de contaminación a nivel de la cuenca hidrográfica.

AÑO	ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA	DESCRIPCIÓN	CALIFICACIÓN
2008	26	POBRE	F
2009	33	POBRE	F
2010	45	MARGINAL	D
2011	42	POBRE	F
2012	48	MARGINAL	D
2013	46	MARGINAL	D

Tabla 23. Índices de calidad de agua y sus respectivas calificaciones para el Río Puerto Nuevo de 2008 a 2013.

Parámetro de calidad de agua	Valor mínimo	Valor máximo	Promedio
Oxígeno disuelto (mg/L)	1.13	7.75	3.82
Turbidez (NTU)	0.00	81.30	14.69
Profundidad Secchi (m)	0.19	1.45	0.73
Aceites y grasas (mg/L)	1.40	2.00	1.75
Nitrógeno total (mg/L)	0.05	2.39	1.08
Nitratos y nitritos (mg/L)	0.02	0.60	0.37
Fósforo total (mg/L)	0.19	0.57	0.39
Carbón orgánico total (mg/L)	0.46	4.77	2.29
Clorofila a (mg/m ³)	0.17	8.50	2.12
Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)	1	6	3.07
Coliformes fecales (CFU*/100mL)	830	19,000	11,935 (7,362)
Enterococcus (CFU*/100 mL)	120	13,000	4,185 (1,657)

Tabla 24. Datos de calidad de agua del Río Puerto Nuevo durante la serie de tiempo de 2008 a 2013. Los promedios en rojo indican incumplimiento con el valor objetivo para ese parámetro. La media geométrica para los conteos bacteriológicos se muestra entre paréntesis.

*CFU= Cantidad de colonias bacterianas

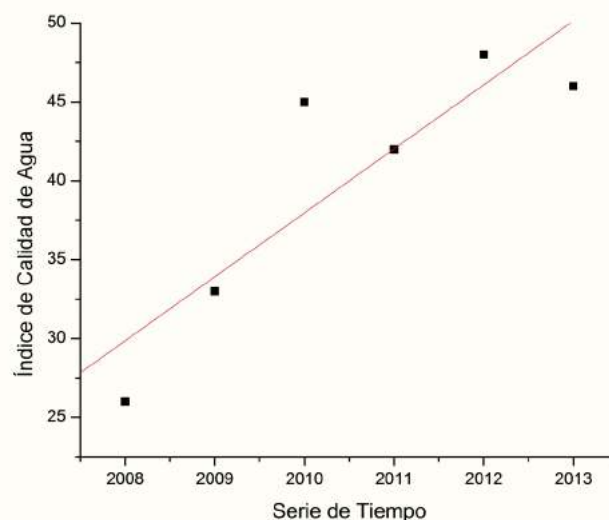


Figura 12. Serie de tiempo y regresión lineal (línea continua, $R=0.88$) para los índices de calidad de agua del Río Puerto Nuevo, 2008 a 2013.

CANAL LA MALARIA

El Canal La Malaria fue construido por el Ejército de los Estados Unidos en la década de 1930 con el propósito de drenar la Ciénaga Las Cucharillas y controlar la propagación del mosquito que transmite la enfermedad de la malaria. Estos mosquitos—del género *Anopheles*— encuentran condiciones ideales de reproducción en humedales; de ahí que a esta enfermedad también se le llame paludismo, del latín *palus* que significa precisamente ciénaga. Por lo tanto, una de las estrategias principales para controlarla era drenar los humedales. Además, con el canal se pretendía rescatar los terrenos de la ciénaga y construir el Fuerte Militar Buchanan. Hoy, la calidad del agua del Canal La Malaria se ve afectada por las descargas de aguas sanitarias sin tratar como, por ejemplo, los desbordamientos de pozos sépticos domésticos. El Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA) opera una casa de bombas en este canal para controlar los niveles de agua en la ciénaga y evitar inundaciones en comunidades aledañas, como Juana Matos en Cataño.

La **Tabla 26** exhibe los valores mínimos, máximos y promedios para la serie de tiempo de 2008 a 2013. A excepción de los nitratos y nitritos, todos los parámetros incumplen con los valores objetivos de calidad de agua. De particular preocupación son los elevados conteos bacteriológicos indicadores de contaminación fecal. La calidad del agua en el Canal La Malaria es muy pobre según reflejan los índices de calidad de agua calculados para la serie (**Tabla 25**). Existe una leve tendencia de deterioro en la calidad del agua a partir del 2008 (**Figura 13**, $R= -0.23$). Es imperativo eliminar las fuentes de descargas de aguas sanitarias al canal mediante prácticas de manejo y mantenimiento de pozos sépticos domésticos, y mejorando la infraestructura sanitaria existente.

AÑO	ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA	DESCRIPCIÓN	CALIFICACIÓN
2008	28	POBRE	F
2009	29	POBRE	F
2010	22	POBRE	F
2011	34	POBRE	F
2012	19	POBRE	F
2013	27	POBRE	F

Tabla 25. Índices de calidad de agua y sus respectivas calificaciones para el Canal La Malaria de 2008 a 2013.

Parámetro de calidad de agua	Valor mínimo	Valor máximo	Promedio
Oxígeno disuelto (mg/L)	0.01	5.28	0.81
Turbidez (NTU)	0.00	105	10.13
Profundidad Secchi (m)	0.10	0.60	0.43
Aceites y grasas (mg/L)	1.40	5.80	2.29
Nitrógeno total (mg/L)	1.59	5.89	3.35
Nitratos y nitritos (mg/L)	0.01	0.58	0.27
Fósforo total (mg/L)	0.27	0.64	0.45
Carbón orgánico total (mg/L)	4.44	8.12	6.66
Clorofila a (mg/m³)	0.69	29.50	5.45
Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)	2	19	7.67
Coliformes fecales (CFU*/100mL)	520	130,000	29,525 (7,944)
Enterococcus (CFU*/100 mL)	490	82,000	34,997 (15,653)

Tabla 26. Datos de calidad de agua del Canal La Malaria durante la serie de tiempo de 2008 a 2013. Los promedios en rojo indican incumplimiento con el valor objetivo para ese parámetro. La media geométrica para los conteos bacteriológicos se muestra entre paréntesis.

*CFU= Cantidad de colonias bacterianas

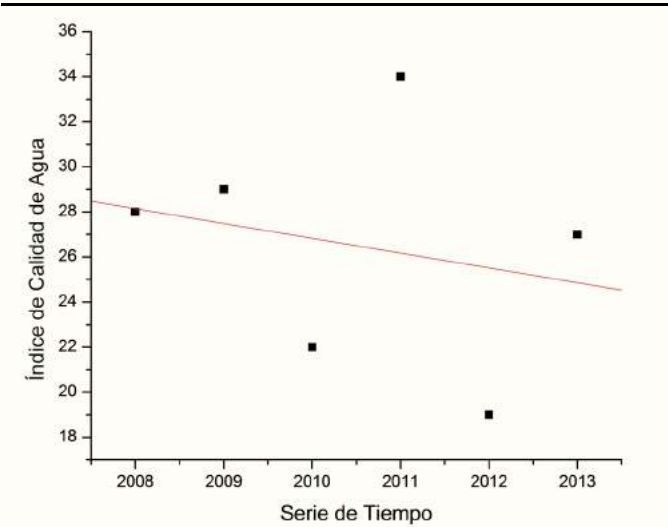


Figura 13. Serie de tiempo y regresión lineal (línea continua, $R= -0.23$) para los índices de calidad de agua del Canal La Malaria, 2008 a 2013.

PENÍNSULA LA ESPERANZA

Este punto de monitoreo se encuentra en la salida de las aguas del Canal La Malaria, después de la estación de bombas en la urbanización Bay View, Municipio de Cataño. La Península La Esperanza fue construida con material del dragado de los canales de navegación de la Bahía de San Juan en la década de 1960. Su construcción tenía el propósito de proteger el litoral de Bay View de la acción y erosión de las olas. No obstante, las fuerzas del litoral— como las olas, el viento y las corrientes— unieron las dos islas artificiales inicialmente construidas, formando lo que hoy conocemos como la Península La Esperanza. Esta tiende a migrar, acercándose a la línea de costa de Cataño formando un gancho que afecta la circulación del agua dentro de la ensenada llana. Este fenómeno afecta la calidad del agua, pues evita la buena circulación, secuestrando así contaminantes y sedimentos provenientes del Canal La Malaria.

La **Tabla 28** exhibe los valores mínimos, máximos y promedios para la serie de tiempo de 2008 a 2013. Los parámetros que no cumplieron con los valores objetivos fueron la turbidez (valores máximos de hasta 46.6 NTU), aceites y grasas (1.53 mg/L), coliformes fecales (media geométrica= 304 CFU/100 mL) y enterococos (media geométrica= 1,268 CFU/100 mL). La serie de tiempo de los índices de calidad de agua demuestra un deterioro en la calidad del agua (**Tabla 27** y **Figura 14**, $R = -0.79$). Es importante mejorar el flujo de agua entre la ensenada de la Península La Esperanza y la Bahía de San Juan y eliminar las fuentes de contaminación y descargas de aguas sanitarias sin tratar en la cuenca de captación del Canal La Malaria.

AÑO	ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA	DESCRIPCIÓN	CALIFICACIÓN
2008	68	REGULAR	C
2009	84	BUENO	B
2010	76	REGULAR	C
2011	36	POBRE	F
2012	44	POBRE	F
2013	38	POBRE	F

Tabla 27. Índices de calidad de agua y sus respectivas calificaciones para la Península La Esperanza de 2008 a 2013.

Parámetro de calidad de agua	Valor mínimo	Valor máximo	Promedio
Oxígeno disuelto (mg/L)	0.24	7.37	4.36
Turbidez (NTU)	0.00	46.60	10.80
Profundidad Secchi (m)	n/a	n/a	n/a
Aceites y grasas (mg/L)	1.40	1.70	1.53
Nitrógeno total (mg/L)	0.32	1.36	0.77
Nitratos y nitritos (mg/L)	0.02	0.13	0.05
Fósforo total (mg/L)	0.02	0.11	0.08
Carbón orgánico total (mg/L)	0.18	9.67	3.32
Clorofila a (mg/m ³)	0.17	7.11	2.30
Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)	2	11	3.64
Coliformes fecales (CFU*/100mL)	< 2	10,000	1,732 (304)
Enterococcus (CFU*/100 mL)	< 10	48,000	6,745 (1,268)

Tabla 28. Datos de calidad de agua de la Península La Esperanza durante la serie de tiempo de 2008 a 2013. Los promedios en rojo indican incumplimiento con el valor objetivo para ese parámetro. La media geométrica para los conteos bacteriológicos se muestra entre paréntesis.

*CFU= Cantidad de colonias bacterianas

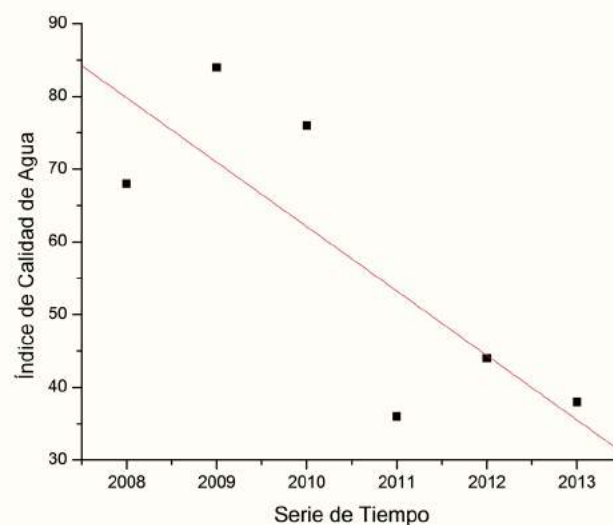


Figura 14. Serie de tiempo y regresión lineal (línea continua, $R = -0.79$) para los índices de calidad de agua de la Península La Esperanza, 2008 a 2013.

PROGRAMA DE MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA POR VOLUNTARIOS



Referencias

Ellis, S.R. & Gómez-Gómez, Fernando, 1976. Hydrologic characteristic of lagoons at San Juan Puerto Rico, during a January 1974 tidal cycle: U.S. Geological Survey Water Resources Investigations Report 38-75, 45 pp.

Quiñones, Ferdinand, 2014. Recursos de Agua de Puerto Rico (<http://www.recursosaguapuertorico.com>).

Capítulo 2

La ostra nativa: una herramienta natural para mejorar la calidad del agua

por: Jorge Bauzá-Ortega, Ph.D., Director Científico, Programa del Estuario de la Bahía de San Juan

Por milenios, las ostras han sido fuente de alimento para los seres humanos, altamente cotizadas por su sabor y valor nutricional. Estas criaturas filtran el agua para obtener su alimento, el cual consiste de partículas orgánicas y microorganismos suspendidos en el agua. De hecho, la ostra nativa (*Crassostrea rhizophorae*, **Figura 1**) tiene la capacidad de filtrar hasta 5 litros de agua por hora (unos 44 galones al día), algo sorprendente para una criatura del tamaño del dedo índice de un adulto. Es decir, donde ellas se encuentren, el agua es más clara. Con esta información, el Programa del Estuario de la Bahía de San Juan (PEBSJ) desarrolló un proyecto piloto de base comunitario (con voluntarios) para trasplantar 3,000 ostras vivas a puntos específicos en la Laguna del Condado, con el propósito de utilizar la ostra nativa o el ostión de mangle como herramienta natural para filtrar el agua. Nuestra hipótesis fue que la calidad del agua mejoraría en los lugares con ostras nativas, lo cual se evidenciaría en una disminución en los niveles de turbidez en dichos puntos.

Una vez aprobados los permisos requeridos por las agencias estatales y federales, las ostras fueron colectadas en la Laguna la Torrecilla (**Figura 2**), donde son muy abundantes. Luego, grupos de 150 ostras fueron colocadas en canastas de polietileno flexible (**Figura 3**) diseñadas para estos propósitos y rotuladas con información del proyecto (**Figura 4**). Se colocaron un total de 15 canastas en 2 estaciones en la Laguna del Condado (**Figura 5**). Es importante recalcar que se adiestró un grupo de voluntarios específicamente para implementar este proyecto novel en Puerto Rico.

Los niveles de turbidez se cuantificaron antes y después de colocar las ostras. En adición, se midieron los mismos parámetros en una estación control (**Figura 6**), la cual exhibía las mismas condiciones de calidad de agua inicial que las estaciones experimentales. El experimento se realizó por un periodo de 3 meses y se realizaron 24 muestreos. Como resultado,



Figura 1. Ostra nativa u ostión de mangle (*Crassostrea rhizophorae*).



Figura 2. Colectando ostras en raíces de mangle rojo (*Rhizophora mangle*) en la Laguna La Torrecilla.



Figura 3. Colocación en la Laguna del Condado de las canastas de polipropileno flexible con ostras.



Figura 4. Rótulo informativo identificando cada canasta.



Figura 5. Arreglo de las canastas (15) en una de las estaciones experimentales (Estación C).

los niveles de turbidez disminuyeron en un 55% — de 20.0 NTU a 9.0 NTU— en las estaciones con ostras (**Figura 7**), mientras que en la estación control (sin ostras) los niveles de turbidez aumentaron (**Figura 8**) para el mismo periodo. Por lo tanto, los niveles de turbidez en las estaciones experimentales con ostras fueron menores que en la estación control sin ostras (**Figura 9**). De tal forma quedó demostrado que la ostra nativa tiene la capacidad de reducir los niveles de turbidez y por consecuencia mejorar la calidad del agua. Así, nuestra hipótesis fue confirmada. La ostra nativa es un filtro natural y tiene el potencial de servir como herramienta para mejorar la calidad del agua en lugares donde pueda adaptarse. No obstante, hay que tener presente que este fue un estudio piloto a corto plazo. El informe detallado de hallazgos y recomendaciones está disponible en el portal cibernético del PEBSJ (www.estuario.org).



El ostión de mangle es una especie de ostra nativa del caribe asociada a la raíz del mangle rojo (*Rhizophora mangle*) y otras estructuras sólidas en la zona inter-mareal, como muelles, pilotes y muros sumergidos. Curiosamente, el ostión de mangle cambia de sexo durante su vida. Es decir, comienza siendo un macho y al crecer se transforma en hembra en un proceso llamado *hermafroditismo protándrico*. Además, son excelentes indicadores de contaminación (organismos centinelas) pues acumulan en sus tejidos internos los tóxicos que puedan estar presentes en el agua.

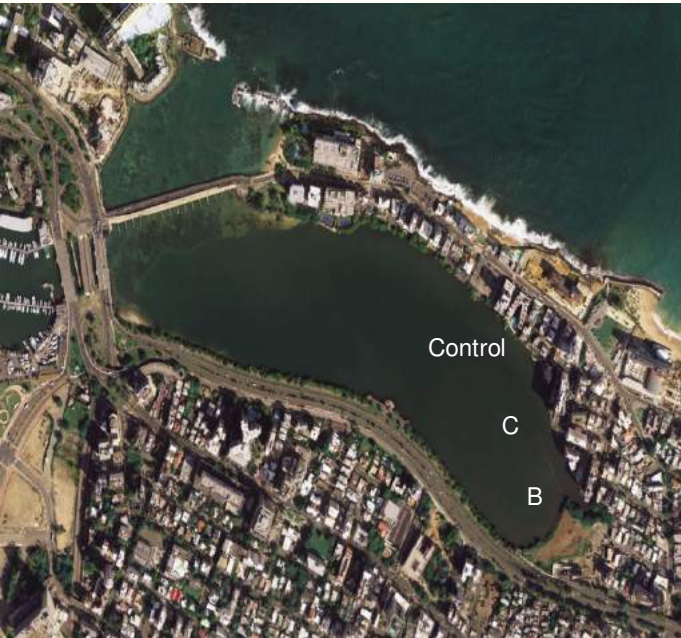


Figura 6. Estaciones experimentales con ostras (B y C) y estación control (sin ostras) en la Laguna del Condado.

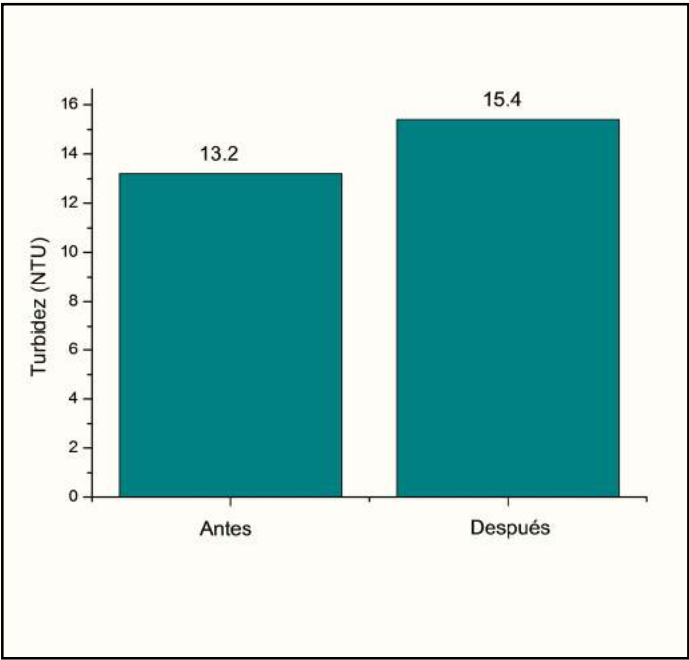


Figura 8. Cambio en los niveles de turbidez antes y después del experimento en la estación control sin ostras.

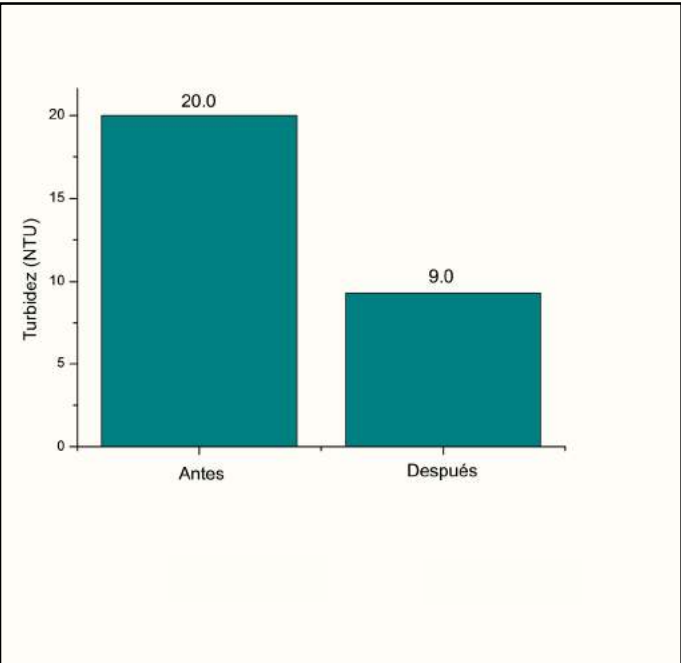


Figura 7. Cambio en los niveles de turbidez antes y después de colocar las ostras en las estaciones en la Laguna del Condado.

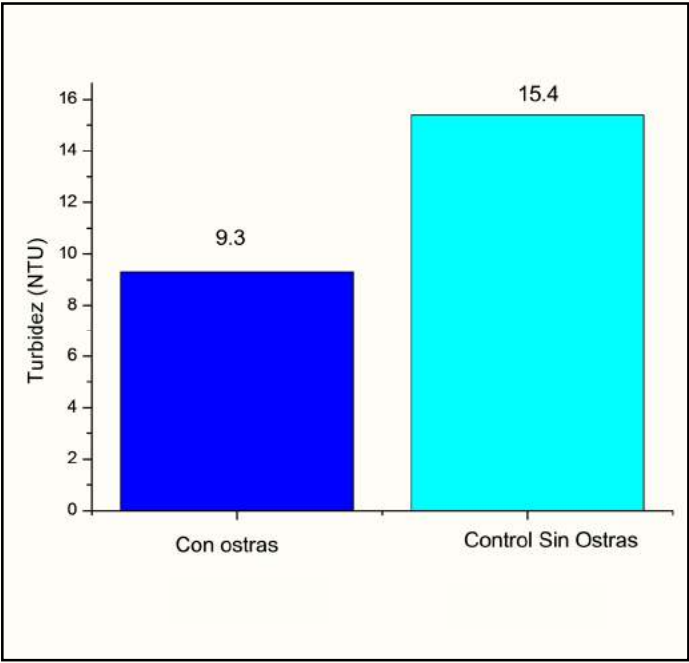


Figura 9. Niveles de turbidez en las estaciones con ostras versus la estación control sin ostras.



2 Cambio Climático y el Nivel de las Aguas

Capítulo 3 Estaciones de nivel de agua en el Estuario de la Bahía de San Juan 26

Capítulo 4 Análisis multidisciplinario para abordar los posibles impactos del cambio climático en el Estuario de la Bahía de San Juan 28

Capítulo 3

Estaciones de nivel de agua en el Estuario de la Bahía de San Juan

por: Jorge Bauzá-Ortega, Ph.D., Director Científico, Programa del Estuario de la Bahía de San Juan

El ascenso en el nivel del mar es uno de los riesgos principales del calentamiento global en los trópicos. Los datos de nivel de agua de la estación de la NOAA en la Bahía de San Juan (La Puntilla, NOAA Station ID 9755371) evidencian este fenómeno en Puerto Rico, pues desde la década de 1950 viene registrando un ascenso constante. No obstante, desconocemos a ciencia cierta cómo este ascenso va a manifestarse en las lagunas internas del Estuario de la Bahía de San Juan. Particularmente, cómo va afectar la hidrodinámica de estas lagunas. Según el Servicio Geológico de los Estados Unidos, las lagunas costeras responden de forma distinta a los cambios en el nivel del mar en comparación con el litoral marino. Con tal preocupación, el Programa del Estuario de la Bahía de San Juan unió esfuerzos con el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés) para instalar estaciones de monitoreo del nivel del agua en la Laguna de Piñones, la Laguna San José, la Laguna La Torrecilla y el Caño Martín Peña (**Figuras 1, 2, 3 y 4**, respectivamente). El objetivo es determinar la vulnerabilidad de estos sistemas ante el ascenso en el nivel del mar y los cambios hidrológicos asociados a cambios climatológicos globales, para así desarrollar estrategias de adaptación eficaces.

Las estaciones de monitoreo contienen sensores (**Figura 5**) que miden el nivel del agua a intervalos de 6 minutos, lo que se traduce en 87,600 lecturas por estación al año. Estos datos son luego transmitidos automáticamente vía satélite a una estación en tierra conocida como el USGS Local Readout Ground Station, donde son procesados estadísticamente y puestos a la disponibilidad del público en la página web del USGS Caribbean Water Science Center (**Figura 6**). Es importante tener presente que para medir efectivamente la variabilidad climática es necesario operar dichas estaciones por periodos extensos de tiempo, es decir, por décadas. Esta es, pues, la única manera de lograr distinguir los cambios meteo-

rológicos diarios, o de corto plazo, de los cambios climáticos que operan a escalas de tiempo más extensas.



Figura 1. Estación para medir el nivel del agua en superficie instalada en la Laguna Piñones.



Figura 2. Estación para medir el nivel del agua en superficie instalada en la Laguna San José.



Figura 4. Estación para medir el nivel del agua en superficie instalada en Caño Martín Peña.



Figura 5. Sensor de nivel de agua tipo Transducer H-310.



Figura 3. Estación para medir el nivel del agua en superficie instalada en la Laguna La Torrecilla.

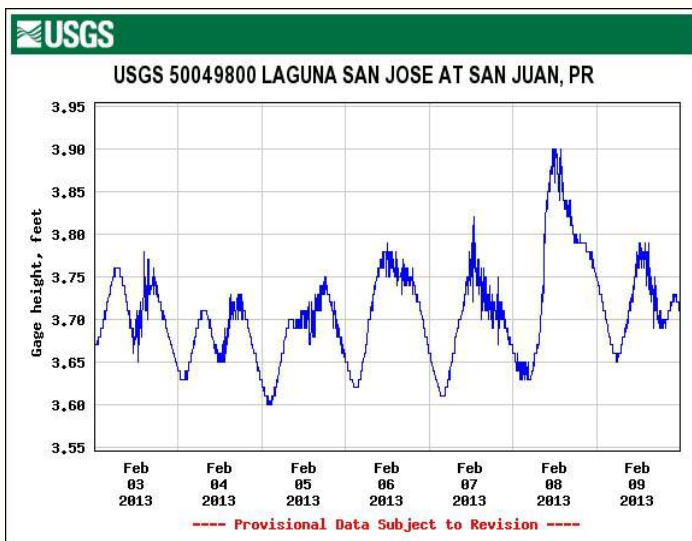


Figura 6. Dinámica temporal en los niveles de agua en la Laguna San José según se presentan en la página web del USGS Caribbean Water Science Center, <http://pr.water.usgs.gov/>.

Capítulo 4

Análisis multidisciplinario para abordar los posibles impactos del cambio climático en el Estuario de la Bahía de San Juan

por: Pablo Méndez-Lázaro¹, Daniel Otis², Matthew McCarthy², Frank E. Muller (IP)³ y Robert Chen²

El calentamiento global, o el aumento de las temperaturas y las concentraciones de dióxido de carbono en la atmósfera, es un fenómeno incuestionable que actualmente dificulta el cumplimiento con los estándares de calidad ambiental necesarios para proteger la salud pública, los ecosistemas marinos y costeros, y las poblaciones más vulnerables. Según la Organización Mundial de la Salud, sin respuestas eficaces al cambio climático se pondrá en peligro la calidad del agua, la seguridad alimentaria y el control de las enfermedades infecciosas. Por tal motivo, para poder desarrollar estrategias apropiadas para proteger a la población, es urgente entender a cabalidad la dinámica y los procesos naturales del cambio climático. La comunidad científica está avanzando en esta dirección y se han desarrollado varios estudios y modelos para conocer de manera precisa los efectos de estos cambios. Sin embargo, aún existen varias lagunas.

Por tal razón, un equipo multidisciplinario de investigación altamente cualificado se ha reunido con el interés común de vincular el cambio climático, la calidad del agua, la salud pública y el bienestar de los ecosistemas marinos y costeros en estuarios del Golfo de México y el Caribe (Estuario de la Bahía de San Juan). El principal objetivo de nuestro proyecto es desarrollar una aplicación que ayude a comprender mejor el impacto que eventos ambientales extremos tienen en la calidad del agua, y evaluar la probabilidad de que varios eventos de este tipo, en diferentes parámetros, ocurran simultáneamente. De esta manera, se le podría proporcionar información más precisa sobre eventos extremos a los investigadores, planificadores y personas encargadas de los procesos de toma de decisiones.

Con este propósito se utilizó información de detección remota para evaluar ciertos parámetros en los cuerpos de agua bajo investigación. Para la Bahía de San Juan específicamente, se desarrolló una serie de tiempo de MODIS Terra (valores de reflectancia de teledetección Rrs) recolectados en

la región roja del espectro (645nm). El MODIS es un instrumento a bordo del satélite Terra, que le da la vuelta y observa el planeta Tierra en un día. El uso de esta banda MODIS (Grupo 1) se ha utilizado en varios estudios previos para estimar las concentraciones de sedimento suspendido en cuerpos de agua (Chen et al. 2007; Rodríguez-Guzmán y Gilbes-Santaella 2009; Miller y McKee 2005, Aurin et al 2013). Al utilizarla para la Bahía de San Juan, se obtuvieron valores de Rrs (645) en cuatro lugares dentro de la bahía. Tres de ellos corresponden a lugares donde el Programa del Estuario de la Bahía de San Juan realiza su monitoreo como parte de sus esfuerzos de vigilancia ambiental. En la **Figura 1** se muestra un mapa con los lugares de muestreo analizados y las profundidades del agua en la Bahía de San Juan.

En primer lugar, se obtuvieron los datos de MODIS Terra (nivel-1A) para la isla entera de Puerto Rico (17.7°N a 18.7°N y 65.1°W a 67.5°W)⁴. Estas imágenes fueron entonces corregidas para eliminar efectos atmosféricos. La **Figura 2** muestra como ejemplo cuatro de estas imágenes. Los colores de cada imagen indican cuánta luz roja (645nm) es reflejada desde la superficie del agua, medición que se utiliza para determinar turbidez. Los colores azules indican baja turbidez en el agua, mientras que los colores rojos representan las aguas más turbias. En tres de las imágenes de la **Figura 2 (A, B y D)** se observan penachos de agua muy turbia procedentes de la desembocadura del Río Bayamón, al oeste de la Bahía de San Juan. Particularmente, la imagen D fue capturada el 12 de diciembre de 2007, justo después del paso de la tormenta subtropical Olga por la costa norte de la isla, la cual dejó altos niveles de precipitación y descarga de ríos. La imagen C, por su parte, muestra las condiciones con muy poca entrada de agua turbia.

Según estos análisis, los patrones de turbidez en la Bahía de San Juan son altamente episódicos y varían espacialmente.

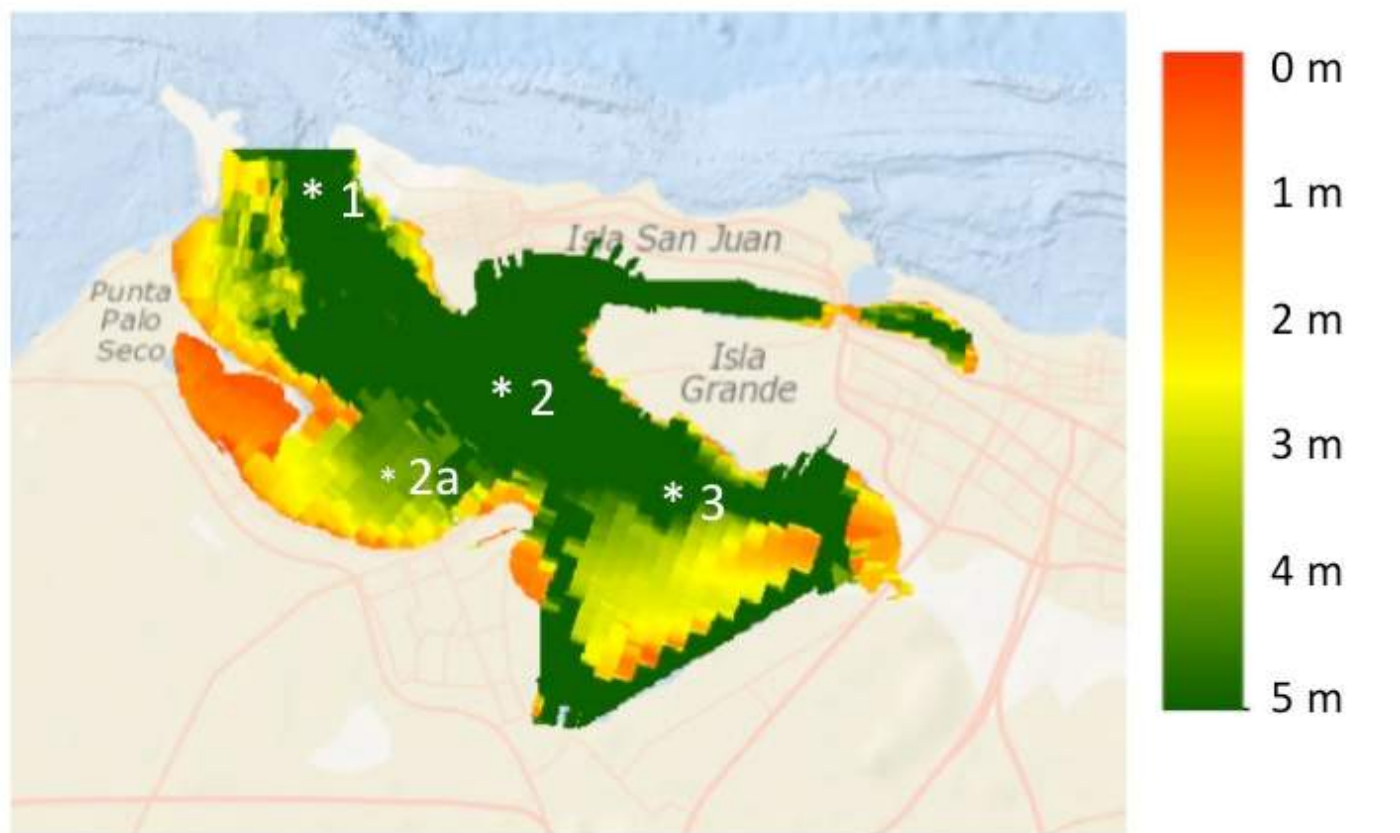


Figura 1. Mapa de la Bahía de San Juan mostrando los lugares de donde se extrajeron los datos de MODIS para el correspondiente análisis. Los colores indican la profundidad en metros. Las posiciones 1, 2 y 3 corresponden a puntos de muestreo del Programa de Estuario de la Bahía San Juan (BSJ1, BSJ2 y BSJ3 respectivamente). La posición 2a indica una ubicación cercana a la desembocadura del Canal La Malaria.

Como se puede observar en la **Figura 2**, a menudo las condiciones de turbidez no son homogéneas entre las diferentes partes de la bahía. En la imagen **A**, a pesar de que se observa un gran penacho de agua turbia en la desembocadura del Río Bayamón, también se observan condiciones de baja turbidez dentro de la Bahía de San Juan. Además, en la imagen **B** se observan condiciones muy turbias cercanas a la costa de Cataño y la desembocadura del Canal La Malaria, mientras que las condiciones del agua en el resto de la bahía (cercano al punto 3) son mucho más claras. Finalmente, en la imagen **D** la bahía se muestra mucho más turbia (cercano al punto 3).

Para identificar los posibles factores que pueden provocar eventos de alta turbidez en la Bahía de San Juan, se analizaron los valores extraídos de MODIS y se compararon con las descargas del Río Piedras, tomando también en consideración la velocidad y dirección del viento. Como resultado se pudo observar que los even-

tos de mucha turbidez en la bahía parecen ser causados por dos factores principales. En primer lugar se encuentran los episodios de mucha descarga por parte del río provocados por eventos de precipitación, que transportan sedimentos suspendidos en el estuario. En segundo lugar están el aumento en la velocidad del viento y los retrocesos rápidos en la dirección del viento. Por ejemplo, cuando los vientos predominantes del este cambian y soplan desde el sur o desde el oeste, causan que los sedimentos asentados vuelvan a ser suspendidos. Por último, de los cuarenta episodios observados desde el año 2000 hasta finales de 2012, dieciséis eventos son atribuibles a la descarga del Río Piedras, quince pueden ser atribuidos al aumento o cambios rápidos en la dirección del viento, cuatro se pueden atribuir a la combinación de ambos (descarga del río y las condiciones del viento) y cinco eventos no pueden ser explicados por las condiciones del viento o la descarga del río.

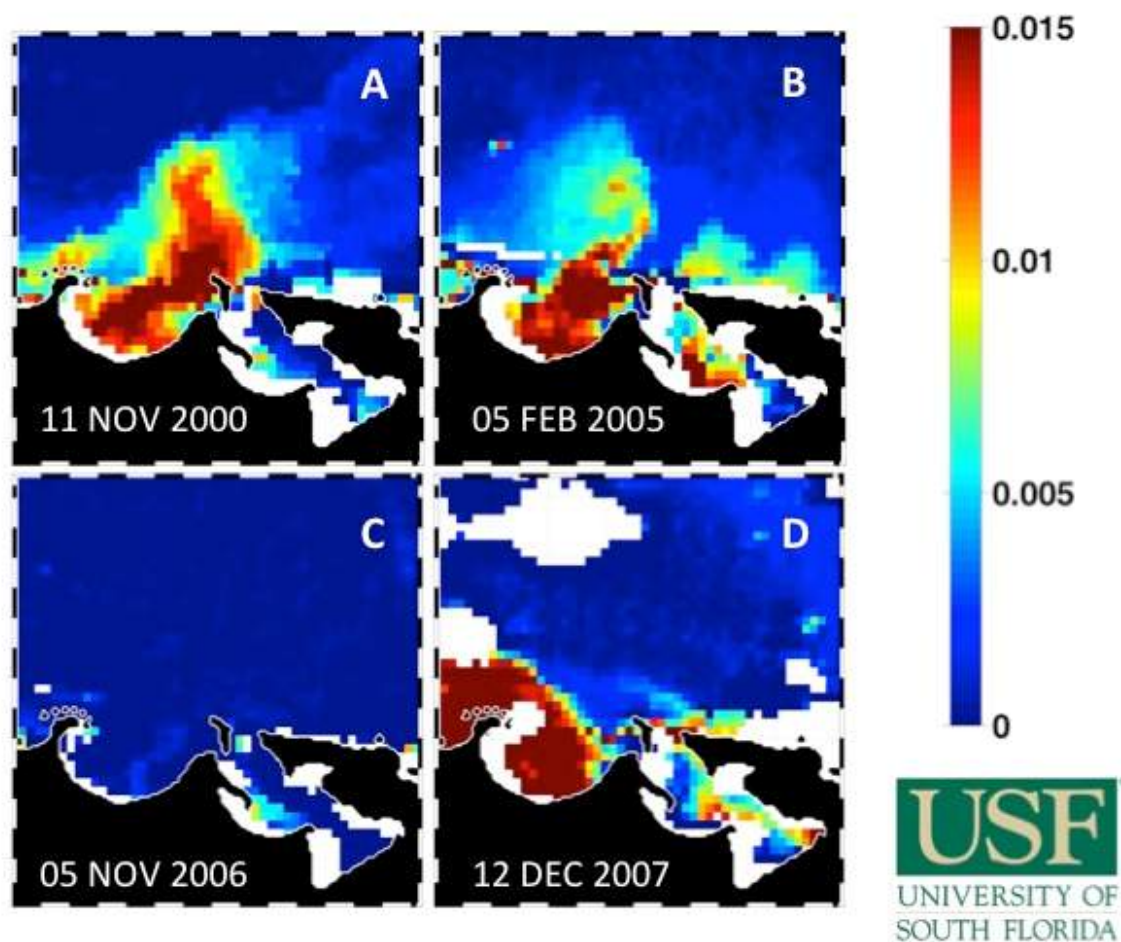


Figura 2. Imágenes MODIS Terra (reflectancia de teledetección en 645nm), indicando la cantidad de luz reflejada desde la superficie del agua (645nm). Barra de colores indica los valores de $R_{rs}(645)$ en sr^{-1} . Las imágenes son cortesía de: *Institute for Marine Remote Sensing (IMaRS) at the University of South Florida, College of Marine Science.*

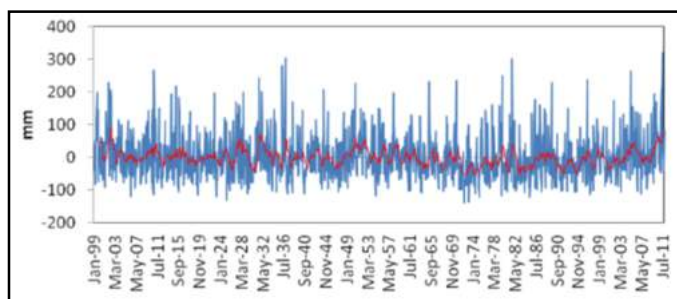


Figura 3. Anomalías mensuales de precipitación (1899-2011).

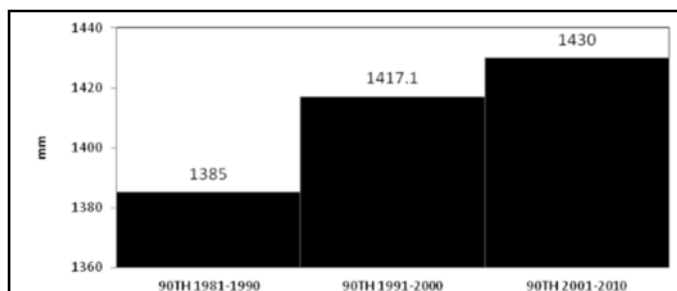


Figura 4. Tendencia del percentil 90 del nivel medio del mar (1981-2010).

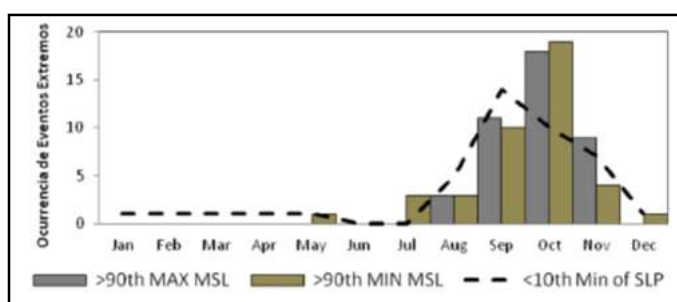


Figura 5. Distribución estacional del número de días al mes en que ocurren eventos extremos: nivel del mar y presión atmosférica extrema (1978-2011).

Tomando en consideración las interrelaciones entre los sistemas atmosféricos y la dinámica del océano, se analizaron también las tendencias a largo plazo y los fenómenos meteorológicos extremos en la Bahía de San Juan, tales como el ascenso del nivel del mar, la velocidad y dirección del viento, la temperatura de la superficie del mar, la temperatura del aire, la presión atmosférica y la precipitación. Luego, se calcularon las anomalías y los índices de extremos según el Equipo de Expertos sobre Detección e Índices del Cambio Climático (ETCCDI). Mientras que los resultados generales indican una leve disminución en la precipitación total anual (**Figura 3**), el récord histórico del nivel medio del mar en San Juan sugiere un claro ascenso en la bahía (**Figura 4**). Además, el número de días al año en que la presión atmosférica se mantiene por debajo del percentil 10th ha aumentado, y los valores máximos muestran una tendencia negativa. Esto es consistente con el desplazamiento al norte de la Zona de Convergencia Intertropical (ITCZ) también conocida como la Vaguada Ecuatorial. Aunque se conoce que el ascenso del nivel del mar tiene varios aspectos y responde a distintas variables, se ha evidenciado la relación entre la presión atmosférica y el ascenso del nivel medio del mar (**Figura 5**). Esta observación nos indica el impacto de fenómenos meteorológicos extremos en el nivel del agua, o efecto de barómetro invertido, sobre la Bahía de San Juan.

En general, este trabajo ofrece notables ideas y nuevas perspectivas, y beneficiará directamente a la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés), al Programa Nacional de Estuarios, a los administradores del estado y a los investigadores, pues se espera que ayude a identificar los factores que conducen a una mejoría en la calidad del agua. Entendemos que también ayudará a maximizar la eficiencia de los esfuerzos de monitoreo de calidad de agua. Por lo tanto, tendrá también consecuencias importantes para el manejo de las zonas costeras y adaptación al cambio climático en San Juan, Puerto Rico.

Este trabajo fue financiado por EPA STAR grant no. 83519 y contrato número EPA/CE99206918 & USF sub contrato # 2500-1504-00-A. Agradecemos a la Corporación para la Conservación del Estuario de la Bahía del San Juan, especialmente al Dr. Jorge Bauzá-Ortega, Director Científico, por establecer los lazos de cooperación y acuerdos colaborativos entre las entidades participantes en esta investigación, y al Dr. Javier Laurano, Director Ejecutivo del Programa del Estuario de la Bahía de San Juan. Las entidades participantes en este estudio fueron el Institute for Marine Remote Sensing/ IMA RS, College of Marine Science, University of South Florida, el Departamento de Salud Ambiental, Escuela Graduada de Salud Pública, Universidad de Puerto Rico-Recinto de Ciencias Médicas y el Programa del Estuario de la Bahía de San Juan.

¹ Departamento de Salud Ambiental, Escuela Graduada de Salud Pública, Universidad de Puerto Rico-Recinto de Ciencias Médicas

² Institute for Marine Remote Sensing (IMaRS), College of Marine Science, University of South Florida

³ Investigador principal (IP). Institute for Marine Remote Sensing (IMaRS), College of Marine Science, University of South Florida

⁴ Estos datos fueron descargados desde el portal de la NASA Ocean Color (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov>)

Referencias

Aurin D., Mannino A., Franz B. 2013. Spatially resolving ocean color and sediment dispersion in river plumes, coastal systems, and continental shelf waters. *Remote Sens. Environ.*, 137, 212-225.

Chen Z., Hu C., Muller-Karger F. 2007. Monitoring turbidity in Tampa Bay using MODIS/Aqua 250-m imagery. *Remote Sens. Environ.*, 109, 207-220.

Miller R.L., McKee B.A., D'Sa E.J. 2005. Monitoring bottom sediment resuspension and suspended sediments in shallow coastal waters. In R.L. Miller, McKee B.A., D'Sa E.J. (Ed.), *Remote Sensing of Coastal Aquatic Environments* (pp. 259-276). Netherlands: Springer.

Rodriguez-Guzmán V., Gilbes-Santaella F. 2009. Using MODIS 250 m imagery to estimate total suspended sediments in a tropical open bay. *J of Syst. Appl. Eng. & Dev.*, 3, 36-44.



3 Sedimentos y Comunidades Bénticas

Capítulo 5 Más allá del Caño Martín Peña: una rehabilitación ambiental para todos 34

Condición actual 34

Propuesta: restaurando el paisaje marino ("seascape") 35

Calculando los beneficios del dragado 35

El dragado beneficia al Estuario, a Puerto Rico y al Caribe 37

Capítulo 6 Reserva Marina Arrecife de la Isla Verde: conservación, preservación y restauración 39

Ubicación 39

Relación entre el Estuario de la Bahía de San Juan y el Arrecife de la Isla Verde 39

La importancia de estos recursos metropolitanos 41

Capítulo 7 Crónica de una muerte anunciada: agua verde, mortandad de peces y circulación de la Laguna San José 44

Capítulo 5

Más allá del Caño Martín Peña: una rehabilitación ambiental para todos

por: Katia R. Avilés-Vázquez, Ph.D., Gerente de Asuntos Ambientales, Proyecto ENLACE del Caño Martín Peña

La degradación ambiental del Caño Martín Peña (Caño)—exacerbada por las condiciones de la infraestructura actual— limita las posibilidades de desarrollo de las comunidades aledañas al Caño y del Estuario de la Bahía de San Juan (Estuario) (**Figura 1**). A principios del siglo XX, este cuerpo de agua comprendía entre 200 y 400 pies de ancho con humedales a ambos lados de sus 3.75 millas de largo. Como parte de las iniciativas de eliminar humedales, entre otras, el Caño se fue rellenando década tras década para la construcción de viviendas. A esto se han ido sumando años de sedimentación causada por desperdicios acarreados por las aguas pluviales de la cuenca que drenan en este cuerpo de agua, incluyendo descargas sanitarias y basura depositada en sus márgenes. El segmento oeste del Caño— que comienza en la Bahía de San Juan y termina en el puente de la avenida Muñoz Rivera— fue dragado en la década de 1980 a un ancho de 200 pies por 10 pies de profundidad. Sin embargo, el segmento este se ha estrechado hasta taparse. Actualmente, el flujo de agua en el segmento este— que va desde el puente de la avenida Muñoz Rivera hasta su apertura en la Laguna San José— está tan limitado que equivale a tener allí una compuerta impidiendo la circulación normal y saludable de agua en el Estuario.

La falta de circulación en este cuerpo de agua tiene serias implicaciones para la población humana, causando inundaciones frecuentes, afectando la infraestructura local y aumentando la prevalencia de enfermedades como gastroenteritis, dengue, asma y dermatitis, todas asociadas a un ambiente insalubre. Escritos epidemiológicos recientes recogen los graves riesgos a la salud que enfrentan las comunidades aledañas al Caño (Roubert et al., 2012; Acevedo-Díaz et al., 2012; Sheffield et al., 2014).

En otras palabras, el impacto ecológico de este bloqueo, en general, podría resumirse fácilmente: divide el Estuario en

dos. Sin embargo, dicho impacto no es igualmente fácil de cuantificar.

¿Cómo medimos las pérdidas que causa la falta de circulación en lo que fue o pudiera ser la biodiversidad del Estuario de la Bahía de San Juan? Ante esta situación y como parte del Estudio de Viabilidad para el Proyecto de Rehabilitación Ambiental del Caño Martín Peña, el Proyecto ENLACE se dio a la tarea de calcular los beneficios del dragado del Caño Martín Peña¹. Para lograr esta cuantificación y asignarle un valor numérico a los beneficios esperados, era necesario tener primero un entendimiento claro de las condiciones existentes, los datos disponibles, y cómo están interrelacionados los sistemas que pueden beneficiarse de la reconexión de las aguas por medio del dragado.

CONDICIÓN ACTUAL

Actualmente, el tapón del Caño impide que fluyan las aguas de escorrentía fuera del área de drenaje y ha reducido significativamente el intercambio de aguas para la Laguna San José. El proceso de renovación de las aguas de la Laguna San José— que bien podría ocurrir en 4 días— toma 17 días ya que sólo entra flujo por el Canal Suárez. Como resultado, la calidad del agua sigue empeorando. El estancamiento de agua ha creado una marcada división, o *estratificación*, entre el agua fresca con oxígeno arriba y el agua salobre (con algo de sal) y poco oxígeno abajo. Aunque esta división de agua, o *halo-dino*, es algo normal en un estuario, normalmente ocurre a profundidades de entre 8 y 10 pies. En la Laguna San José esta división se da entre 4 y 6 pies de profundidad, lo cual indica que gran parte del fondo que pudiese servir de hábitat para ciertos organismos está limitado por falta de oxígeno. Asimismo, en términos de biodiversidad, el tapón en el Caño

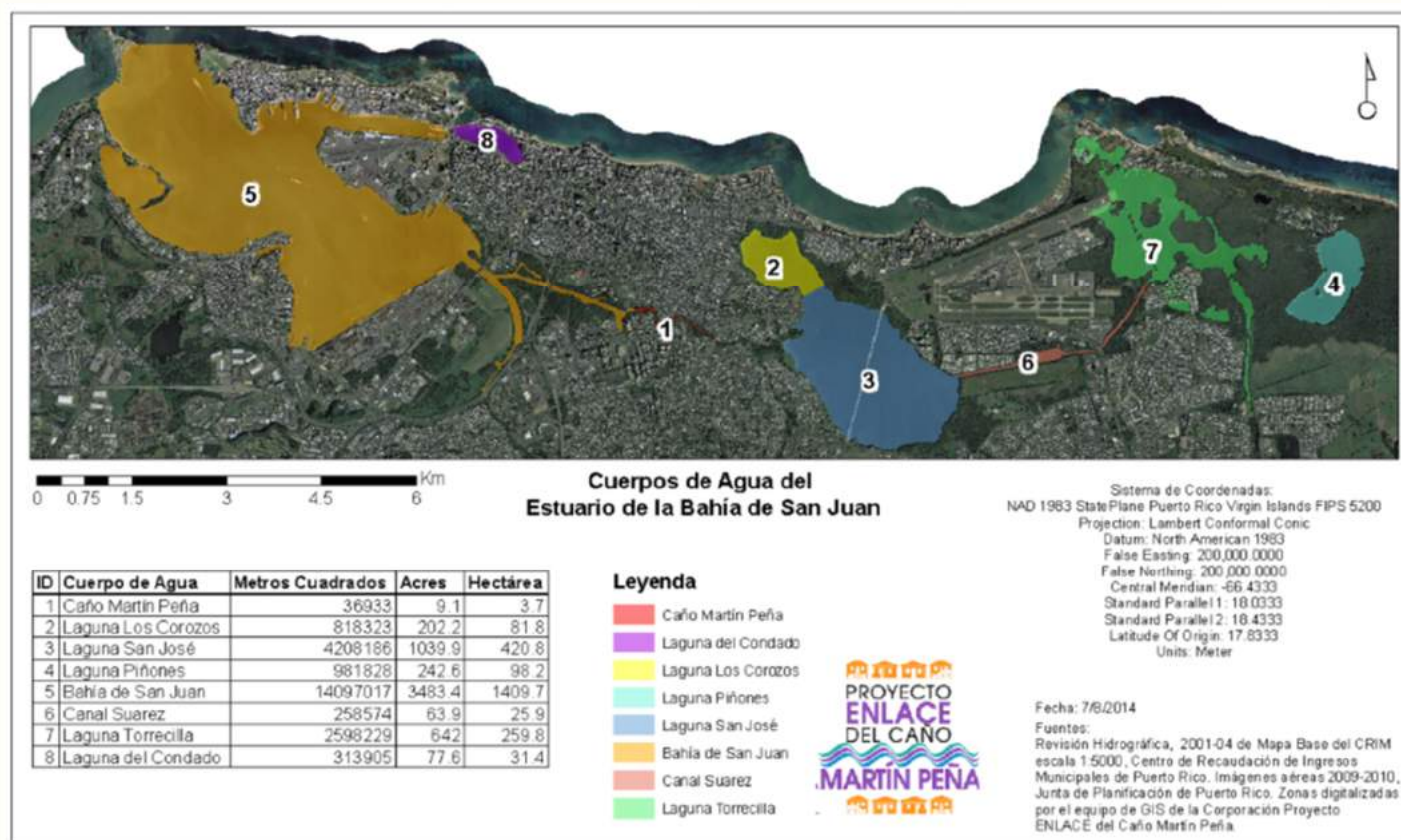


Figura 1. Los cuerpos de agua que componen el Estuario de la Bahía de San Juan. El Caño Martín Peña (1) se conecta con la Bahía de San Juan (5) al oeste y con la Laguna La Torrecilla (7) al este de la cuenca.

propicia que los recursos de hábitat entre la Bahía de San Juan y la Laguna del Condado estén separados de los de la Laguna San José, el Canal Suarez, la Laguna La Torrecilla y la Laguna de Piñones. Esta separación se traduce en una marcada reducción en la conectividad e intercambio de recursos entre hábitats.

PROPUESTA: RESTAURANDO EL PAISAJE MARINO (“SEASCAPE”)

El Proyecto ENLACE del Caño Martín Peña propone el dragado y canalización del Caño a 10 pies de profundidad y 100 pies de ancho, con una franja de conservación de manglar (bosque humedal) con un promedio de 100 pies de ancho a cada lado (norte y sur). La conexión entre hábitats— como manglares, praderas de yerbas marinas, aguas abiertas y corales— es sumamente importante. Juntos crean lo que se conoce como el paisaje marino o, en inglés, *seascape* (Figura 2). Reconectar el paisaje marino beneficia-

ría no sólo a las especies que utilizarían las nuevas corrientes de agua reconectadas a través del dragado, sino también a las especies que utilizan los manglares, el arrecife de coral y las yerbas marinas en distintas etapas de su ciclo de vida.

CALCULANDO LOS BENEFICIOS DEL DRAGADO

Modelo de índice béntico

Para calcular los beneficios de la restauración propuesta se utilizaron herramientas existentes, como el *modelo hidrodinámico* (CH3D-WES) y el *índice béntico* desarrollados para el Programa del Estuario de la Bahía de San Juan. El índice béntico asignó un valor numérico a cada cuerpo de agua del Estuario basado en la diversidad de especies (número de especies presentes) y la abundancia de las especies con alta o poca tolerancia a la contaminación (número de individuos de cada especie) presentes en cada uno. Por ejemplo,

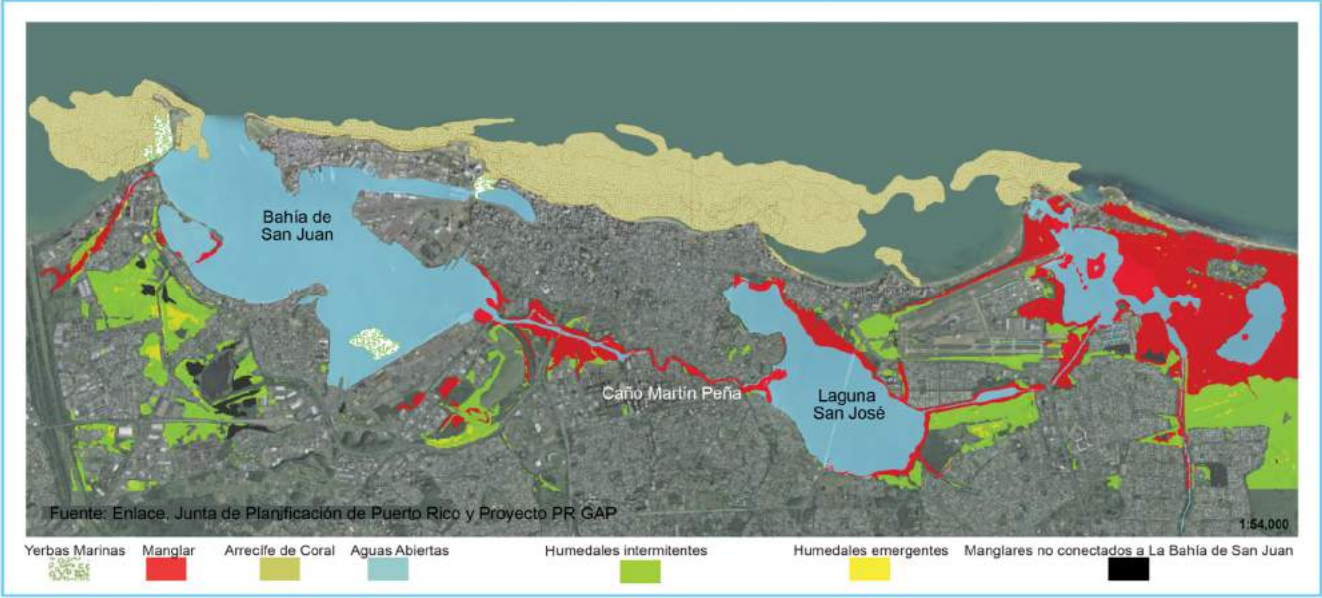


Figura 2. Los diferentes tipos de hábitats que componen el paisaje marino o “seascape” del Estuario de la Bahía de San Juan. De estos, se benefician el hábitat de mangle y el hábitat de peces que agrupa las yervas marinas, el coral y las aguas abiertas.

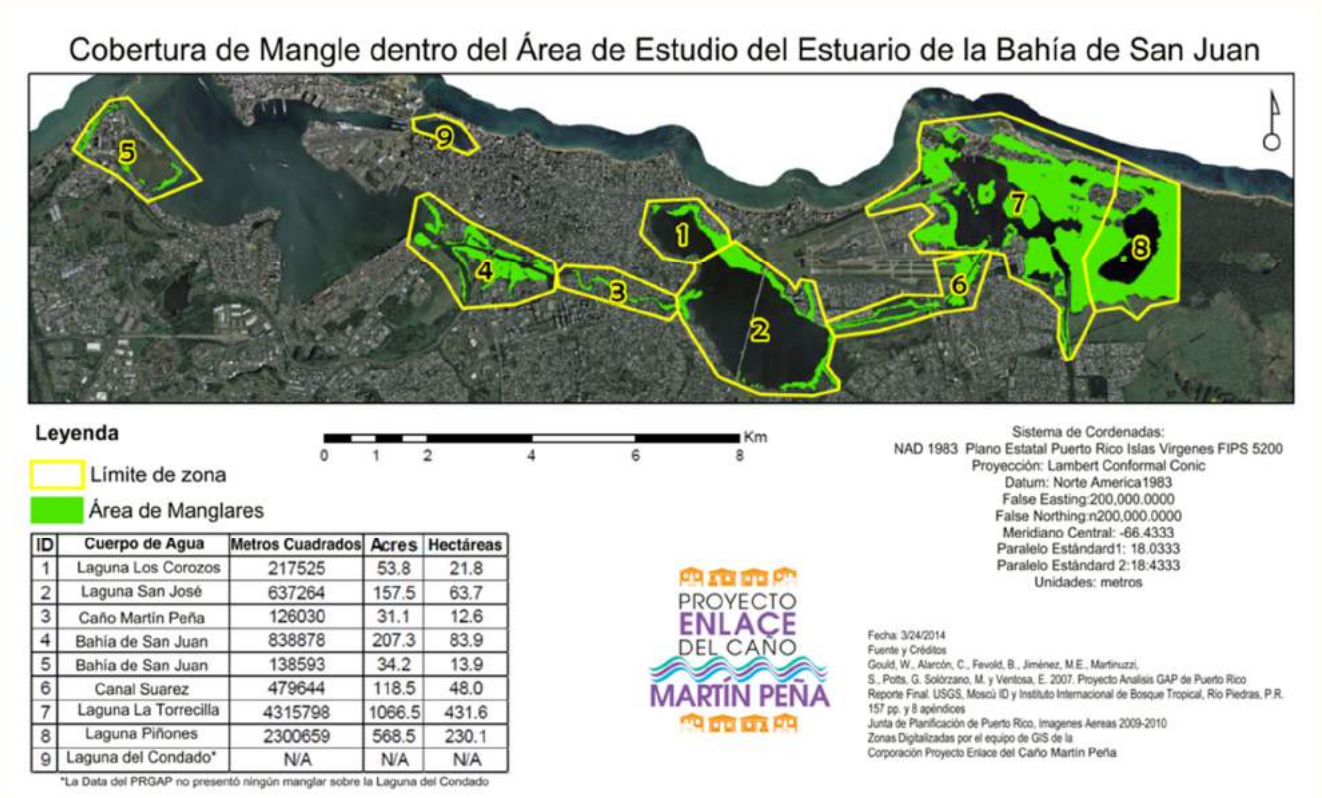


Figura 3. Cobertura de manglar por cuerpo de agua en el Estuario de la Bahía de San Juan.

un cuerpo de agua con muchos individuos de una especie con alta tolerancia a la contaminación tiene un valor numérico o índice béntico menor. Por el contrario, individuos de una especie con poca tolerancia a la contaminación le otorgan un valor numérico o índice béntico mayor, lo cual indica un ecosistema más saludable. Luego, se estableció una correlación entre el índice béntico y la circulación o intercambio de aguas. Las áreas con un mejor intercambio de aguas presentan un índice mayor, mientras que las áreas con menos intercambio de aguas, o mayor estancamiento, tienen un índice menor. Estas áreas de poco intercambio y circulación de las aguas exhiben menor diversidad de especies y mayor número de individuos con alta tolerancia a la contaminación.

El modelo hidrodinámico, por su parte, predice que con la propuesta restauración el intercambio de aguas disminuiría de un periodo de 17 días a uno de entre 3 a 4 días en la Laguna San José. Esto reduciría significativamente la estratificación presente y oxigena la Laguna San José. El índice béntico aumentaría de 1.55 a 2.84 (de un máximo de 3). Esto significa que 702 acres del fondo de la Laguna San José— que se ubican entre 4 y 6 pies de profundidad— y 295 unidades de hábitat se beneficiarían directamente del dragado del Caño Martín Peña.

Modelo de hábitat de peces y área de mangle

La disponibilidad del mangle impacta fuertemente la estructura de las comunidades y la biomasa de los peces que residen en los arrecifes de coral en su etapa adulta. La biomasa, densidad, abundancia y diversidad de varias especies de peces adultos que utilizan los arrecifes de coral aumenta según la disponibilidad y accesibilidad de hábitat de mangle que funcione como vivero para sus juveniles. Esto implica que reestablecer la conexión del paisaje marino de la Bahía de San Juan y los corales cercanos beneficiaría la salud de los ecosistemas costeros.

El modelo hidrodinámico CH3D-WES nos permitió modelar la frecuencia del intercambio de aguas en cada hábitat del Estuario. Una modificación a este modelo permitió calcular los valores actuales— con el Caño tapado— y proyectados— una vez dragado el Caño— para la renovación de las aguas, variabilidad en la fase mareal y otras fluctuaciones astronómicas. En general, mientras más ancho el Caño, más rápido sería el intercambio de aguas porque el volumen de agua que se puede mover es mayor. Además, utilizando datos existentes², se calcularon los acres que comprende cada ecosistema agrupándolos en dos categorías principales: hábitat de peces (aguas abiertas, yerbas marinas y coral, (Figura 1) y área de mangle (Figura 3). Luego se calcularon los acres totales de cada hábitat en el Estuario con respecto a estas categorías de ecosistemas y se multiplicaron por un valor entre 0 y 1 que representara el por ciento de cambio a raíz del dragado

del Caño. Este valor proporcional se basó en dos factores: (1) cuán distante está cada área del punto nuevo de conexión (el Caño dragado) y (2) el cambio en fluctuación mareal en el caso del hábitat de peces, o cambio en la fase mareal para el área de mangle.

Las áreas que sufran menos cambio luego de dragado el Caño tendrán un valor menor que aquellas cuya fluctuación o fase mareal aumenten después del dragado. Por ejemplo, el área total para hábitat de peces de la Bahía de San Juan se beneficiaría en un 75%, es decir, que de un total de 3,483 acres, unos 2,613 acres del área de la bahía mejorarían al reconectar el Caño. La **Tabla 1** y la **Tabla 2** (próxima página) presentan el área ecológica total beneficiada con el dragado tanto para comunidades ecológicas sumergidas como para área de manglar, respectivamente. Para ambos, el cambio en mareas es un buen indicador debido a su relación con el movimiento de las aguas superficiales. Este movimiento distribuiría los peces, larvas, juveniles, y semillas vegetativas a través de los hábitats del paisaje marino que quedarían nuevamente entrelazados.

EL DRAGADO BENEFICIA AL ESTUARIO, A PUERTO RICO Y AL CARIBE

Como expusimos anteriormente, el dragado y canalización del Caño Martín Peña reducirá el intercambio de aguas en la Laguna San José de un periodo de 17 días a 4 días, restaurando la variabilidad mareal en un 60%. Esto significaría que, sumando todos los hábitats— béntico, mangle y aguas abiertas (que incluye las yerbas marinas y los arrecifes de coral) — aproximadamente 6,294 acres se beneficiarán al reabrir el Caño Martín Peña y restaurar su flujo hidráulico. Se estima que en su mayoría la mejoría en los hábitats ocurriría en los primeros tres años después de completado el proyecto.

Necesitamos reconectar el Estuario para que las especies de peces, los organismos que se incrustan en las raíces de mangle y aquellos que usan el hábitat béntico puedan moverse libremente entre los hábitats disponibles, desde el Caño hasta los arrecifes de coral. Reconectar este paisaje marino fomentará el intercambio de especies en distintas etapas de vida, entre sus diversos hábitats y mejorará la capacidad del Estuario como vivero para la zona caribeña. A su vez, dragar el Caño ayudará a mejorar las condiciones de salud de sus residentes más cercanos, potenciará las alternativas de desarrollo micro-empresarial turístico, y proveerá una nueva visión en la cual la ciudad integra y se integra a su entorno acuático. La rehabilitación del Caño Martín Peña y la reconexión del Estuario de la Bahía de San Juan benefician a personas y ecosistemas por igual.

Localización	Acres	Factor de escala	Unidades de hábitat
Bahía de San Juan	3,348	0.75	2,612.6
Laguna del Condado	77.6	0.50	38.8
Laguna San José	1,039.9	1.00	1,039.9
Laguna La Torrecilla	642.0	0.75	481.5
Laguna de Piñones	242.6	0.50	121.3
Canal Suárez	63.9	1.00	63.9
Caño Martín Peña	25.57	1.00	25.57
Laguna Los Corozos	202.2	1.00	202.2
Arrecife cercano a la entrada oeste	773.0	0.25	193.3
Arrecife cercano a la entrada este	309.4	0.25	77.4
Arrecife central	2,481	0.125	310.2
TOTAL			5,166.6

Tabla 1. Cuantificación de hábitat de peces sumando aguas abiertas, yerbas marinas y coral.

Localización	Acres	Factor de escala	Unidades de hábitat netas
Bahía de San Juan, oeste	34.2	0.125	4.3
Bahía de San Juan, este	207.3	0.75	155.5
Laguna del Condado	NM	0.125	NM
Laguna San José	157.5	1.00	157.5
Laguna La Torrecilla	1,066.5	0.25	266.6
Laguna de Piñones	568.5	0.125	71.1
Canal Suárez	118.5	0.75	88.9
Caño Martín Peña	832.1	1.00	34.5
Laguna Los Corozos	53.8	1.00	53.8
TOTAL			832.1

Tabla 2. Cuantificación de beneficios de unidades de hábitat para área de mangle (NM= no en el mapa o no mostrado en los sistemas de información geográfica).

¹El trabajo se llevó a cabo desde la Corporación del Proyecto ENLACE del Caño Martín Peña con científicos de las firmas de consultoría Atkins y Environmental Science Associates (ESA), y con asesoría de miembros del Comité Comunitario del Dragado compuesto por residentes del Grupo de las Ocho Comunidades aledañas al Caño Martín Peña (G-8, Inc.), el Comité Técnico del Dragado del Caño Martín Peña, el Comité Científico y Técnico del Estuario de la Bahía de San Juan, el Project Delivery Team para el Caño Martín Peña del Distrito de Jacksonville y el Centro de Expertos en Ecosistemas del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos y un Panel de Revisión Externa con científicos miembros del National Academies of Science coordinado por Battelle Memorial Institute.

²El Puerto Rico Gap Analysis Project, la Junta de Planificación de Puerto Rico y el Centro de Recaudación de Ingresos Municipales, fueron algunas de las fuentes de información utilizadas. Para más información de los datos utilizados puede verse el informe final "National Ecosystem Restoration Benefits Evaluation: An Assessment of the Ecological Uplift Associated with the Restoration of the Caño Martín Peña, Focusing on Benefits to the Study Area" (2014), preparado por Atkins para la Corporación del Proyecto ENLACE del Caño Martín Peña.

Referencias

Acevedo-Díaz E., Caraballo-La Santa K., Crespo-Garay C., Feliciano-Fernández M.L., González-Meléndez A., González-Morales L., León-Saavedra C., Licha-Soler N., Olivo-González A., Soto-Santiago M., Quiñones-Reyes F. 2012. Prevalence of bronchial asthma and atopic dermatitis among the pediatric population residing adjacent to Caño Martín Peña. University of Puerto Rico Medical Sciences Campus, Department of Biostatistics and Epidemiology.

National Ecosystem Restoration Benefits Evaluation: An Assessment of the Ecological Uplift Associated with the Restoration of the Caño Martín Peña, Focusing on Benefits to the Study Area. 2014. Proyecto ENLACE del Caño Martín Peña.

Roubert M., Vélez H., et al. 2012. Prevalence of gastrointestinal symptomatology among residents of communities adjacent to Caño Martín Peña in San Juan, Puerto Rico. Ponce School of Medicine and Health Sciences.

Sheffield P., Rowe M., Agu D., Rodríguez L., Avilés K. 2014. Health Impact Assessments for Environmental Restoration: The Case of Caño Martín Peña. *Annals of Global Health* (accepted manuscript).

Capítulo 6

Reserva Marina Arrecife de la Isla Verde: conservación, preservación y restauración

por: Francisco (Paco) López-Mujica, Presidente, Arrecifes Pro-Ciudad, Inc.

UBICACIÓN

El Arrecife de la Isla Verde es una reserva marina ubicada específicamente alrededor del cayo de nombre Isla Verde, muy cerca de la orilla, frente a la Punta del Medio y una península que divide la franja costera en dos playas, Isla Verde oeste e Isla Verde este, en el Municipio de Carolina (**Figura 1**). Este arrecife es muy rico en vida marina. En él habitan especies en peligro de extinción, como manatíes, tortugas marinas y hasta especies de coral amenazadas, como el cuerno de alce (*Acropora palmata*). Además, funcionan como criadero de varias especies de corales duros y blandos, así como de peces, anémonas, rayas, langostas, cangrejos, caracoles, algas y yerbas marinas que crecen y se reproducen en este arrecife. En fin, es un ecosistema único en plena zona metropolitana (**Figura 2**).

El Arrecife de la Isla Verde es parte de una cadena de arrecifes de franja que discurre desde San Juan hasta Piñones. Esta cadena es de vital importancia para la protección de nuestras costas, pues los arrecifes de coral disipan la fuerza de las olas, actuando como barrera natural para evitar la erosión costera, así como para proteger las playas, la infraestructura, los residentes y las propiedades privadas y públicas (**Figura 3**, próxima página).

RELACIÓN ENTRE EL ESTUARIO Y EL ARRECIFE DE LA ISLA VERDE

La relación geográfica entre el Arrecife de la Isla Verde, la Boca de Cangrejos y la Laguna La Torrecilla se observa en la **Figura 4** (página próxima). La Boca de Cangrejos es el punto más al este donde se intercambian las aguas del Estuario con las aguas del Océano Atlántico. Como se puede comprobar



Figura 1. La Ley 274 del 26 de septiembre 2012 designa la Reserva Marina Arrecife de la Isla Verde, la cual tiene un perímetro aproximado de 3.85 km. (2.39 millas) y una superficie de 220 cuerdas.



Figura 2. Diversidad de especies que habitan en el Arrecife de la Isla Verde.



Figura 3. El Arrecife de la Isla Verde forma parte de la cadena de arrecifes de franja que discurre desde San Juan hasta Piñones.



Figura 4. Relación geográfica entre el Arrecife de la Isla Verde, la Boca de Cangrejos y la Laguna La Torrecilla.

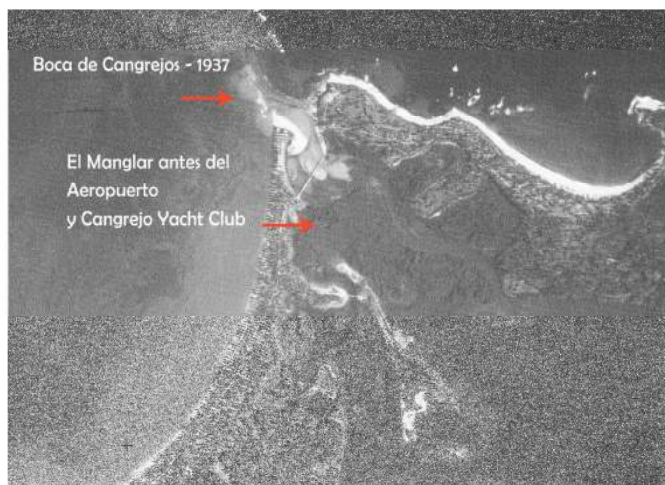


Figura 5. Fotos históricas de la Boca de Cangrejos.

en la foto histórica del 1937 (**Figura 5**), en el pasado la salida de la Laguna La Torrecilla hacia el mar estaba bordeada de manglares y era de poca profundidad, pues aún no estaba canalizada. A partir de 1951 se draga y canaliza esta salida, se comienza la obstrucción del Caño de Martín Peña y se urbaniza la cuenca hidrográfica del Estuario. Estos sucesos alteraron la hidrología del lugar aumentando, por ejemplo, el volumen de las aguas de escorrentía. Por otro lado, la construcción del Aeropuerto Internacional sedimentó e impactó los corales del litoral, sobre todo el cuerno de alce (**Figura 6**), que componía gran parte del Arrecife de la Isla Verde. No obstante, hoy día se observan nuevos reclutamientos de colonias de coral. Sin embargo, la sedimentación

producto de la escorrentía excesiva los extermina con el tiempo. Por lo tanto, es de vital importancia mejorar la calidad del agua de nuestro Estuario metropolitano.

Por otra parte, la construcción de condominios y hoteles a partir de 1960 impactaron grandemente este recurso natural, particularmente a las tortugas marinas que utilizan las playas para anidar. En un lugar donde hoy día observamos una población considerable de Carey de concha (*Eretmochelys imbricata*) y de peje blanco (*Chelonia mydas*), debemos presumir que antes del tapizado de las playas con verjas de cemento, estas tortugas marinas anidaban en las dunas donde se construyeron todos los hoteles y condominios. Afortunadamente, a pesar de la contaminación lumínica

que estos producen, en la actualidad aún nos visita el tinglar (*Dermochelys coriácea*) para anidar en estas playas. Sin embargo, estamos convencidos de que corrigiendo la contaminación lumínica aumentará el número de nidos de tinglar en nuestras playas metropolitanas.

Otra fuente de amenaza actual para el Arrecife de la Isla Verde y sus playas es la sedimentación y contaminación producto de un sistema de alcantarillado sanitario frágil. El sistema de alcantarillado sanitario de esta zona fue construido en los años cincuenta, cuenta con limitado mantenimiento, y frecuentemente es obstruido por los aceites y grasas de uso doméstico y comercial. Esto provoca desbordamientos de aguas usadas que terminan en el arrecife y las playas del área, afectando la salud de su biodiversidad y la nuestra.

Asimismo, el uso de embarcaciones de motor, botes y “jet skis” en esta zona impactan los corales y otras especies marinas, como los manatíes y las tortugas. Por muchos años hemos observado numerosos incidentes de este tipo. Hemos atestiguado cómo embarcaciones han abierto caparazones de tortugas marinas, y hasta cómo un bebe manatí fue impactado precisamente por un jet ski, muriendo en la misma playa (Figura 7).

Finalmente, la sobrepesca ha impactado este arrecife por décadas. El lugar es un criadero de langostas, mayormente de la especie *Panulirus guttatus*, o langosta moteada. Hemos avistado y documentado ejemplares de tamaños de entre $\frac{3}{4}$ de pulgada hasta 6 pulgadas de caparazón. Así, urge que se realice una investigación para comparar cómo han cambiado las poblaciones de estos crustáceos luego de comenzada la protección de este arrecife como reserva marina. Entendemos que con el tiempo el criadero de esta especie de langostas en aguas llanas repoblará los arrecifes exteriores profundos, donde sí es permitida su pesca. Además, se puede utilizar como ejemplo el caso de la isla municipio de Culebra, donde los mismos pescadores solicitaron y trabajaron arduamente para la designación y protección de la Reserva Natural Canal Luis Peña. Así aprenderemos de los maestros pescadores.

LA IMPORTANCIA DE ESTOS RECURSOS COSTEROS METROPOLITANOS

Durante años, hemos visto cardúmenes de sábalo (*Megalops atlanticus*) saliendo de la Bahía de San Juan hacia el Escambrón. También hemos observado manatíes que salen de la Laguna del Condado a comer las yerbas marinas de Ocean Park. Estas criaturas también se mueven por el Arrecife de la Isla Verde y se



Figura 6. Coral cuerno de arce (*Acropora palmata*), especie en peligro de extinción que se encuentra en el Arrecife de la Isla Verde.



Figura 7. Manatí antillano (*Trichechus manatus manatus*) impactado por la hélice de una embarcación de motor en el la Reserva Marina Arrecife de la Isla Verde.



Cronología y resumen de una protección que comienza

- La Junta de Manejo de la Reserva Marina del Arrecife de la Isla Verde cuenta con representación del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA), así como de comerciantes, académicos y vecinos del área.
- Se firmó un Acuerdo Colaborativo entre el DRNA, el Municipio de Carolina y Arrecifes Pro Ciudad, corporación sin fines de lucro que representa esta iniciativa comunitaria de conservación.
- La Honorable Secretaria del DRNA, Dra. Carmen E. Guerrero Pérez, firmó la Orden de NO PESCA 2014-01 para la protección de las especies en el arrecife.
- Organizamos el grupo comunitario *Vigilantes del Arrecife*, compuesto por vecinos y usuarios de los espacios recreativos de la zona, que se han ofrecido como voluntarios para implementar un Protocolo de Vigilancia con las entidades de seguridad estatales y municipales. Nos reunimos periódicamente para recibir el insumo y actualizar el protocolo.
- Se colocaron 15 boyas de delimitación alrededor del perímetro del arrecife. Estas boyas indican que no se puede pescar ni pueden entrar embarcaciones de motor dentro de la zona delimitada. Hemos colocado letreros trípticos educativos e informativos en los seis accesos terrestres a la Reserva Marina y pronto tendremos completado el Plan de Manejo, que será el documento matriz del área marina protegida.
- La base y fundamento de esta reserva es la EDUCACIÓN. Antes de la designación de la reserva, publicamos el libro de colorear “Los Residentes del Arrecife de la Isla Verde”. Su primera edición fue posible gracias a un donativo del PEBSJ. Además, celebramos diversas actividades para dar a conocer el arrecife, sus recursos y la importancia de conservarlos.
- Participamos activamente en las actividades de monitoreo de aguas del PEBSJ, haciendo pruebas en diferentes lugares de las playas de Isla Verde.
- Este año tuvimos el primer nido de tinglar de esta temporada en el archipiélago de Puerto Rico. Sesenta y cinco días después, eclosionaron 30 tortuguitas que salieron al mar desde la playa de la Reserva Marina.
- Más adelante, estaremos trabajando con los problemas del alcantarillado sanitario, el reciclaje de aceites y grasas en los condominios y el arte en las alcantarillas pluviales con fines educativos.
- Además, deseamos realizar un proyecto piloto para educar sobre la contaminación lumínica y corregir este problema. Entendemos que la playa de la Reserva Marina sería un lugar idóneo para este proyecto, pues recibe prácticamente un 70% de contaminación lumínica (Figura 8).

internan por la Laguna La Torrecilla. Este tránsito de especies en el Estuario nos demuestra a simple vista la relación entre las aguas internas y externas. Los arrecifes de franja al norte de la ciudad protegen la costa, han permitido la formación de nuestras hermosas playas urbanas, y son la barrera natural más efectiva para contrarrestar las marejadas. La mejor inversión que podemos hacer es proteger los arrecifes que ya tenemos, mejorando la calidad de las aguas que salen del Estuario, desde la Quebrada Chiclana en Caimito y desde los humedales en Carolina. Esto incluye también la restauración del flujo del Caño de Martín Peña para que estas aguas discurran como en el pasado, cuando el Estuario estaba conectado naturalmente, y lleguen aguas más limpias al arrecife. Esto además ayudaría a resolver los terribles problemas de salud que sufren los residentes del Caño Martín Peña.

El Arrecife de la Isla Verde está abierto para servir de lugar de estudio e investigación científica, sobre todo para las instituciones de educación superior del área metropolitana. Hasta el momento se han efectuado dos tesis de maestría y una disertación doctoral en este arrecife. La biodiversidad que ha sobrevivido en este lugar es digna de estudio para comprender la resiliencia de estas especies. El futuro de estos espacios submarinos depende de la relación y cooperación entre la academia, el gobierno, las organizaciones no gubernamentales y la ciudadanía (**Figura 8**). Las áreas marinas protegidas ofrecen grandes oportunidades para el desarrollo económico de las comunidades vecinas, los pescadores y los concesionarios que ofrecen servicios en esta zona turística. En general, es una nueva oportunidad para la buena salud de nuestras playas y los negocios de Isla Verde. Todas y todos ganamos con la protección de la Reserva Marina Arrecife de la Isla Verde, primera reserva marina urbana de arrecifes de coral en Puerto Rico (**Figura 9**).



Figura 8. Historieta ambiental educativa sobre la contaminación lumínica, desarrollada por la organización sin fines de lucro Arrecifes Pro Ciudad.



Figura 9. Juvenil de pez ángel reina (*Holocanthus ciliaris*), ejemplo de la belleza que depende de la Reserva Marina Arrecife de la Isla Verde.

Capítulo 7

Crónica de una muerte anunciada: agua verde, mortandad de peces y la circulación de la Laguna San José

por: Jorge Bauzá-Ortega, Ph.D., Director Científico, Programa del Estuario de la Bahía de San Juan

Es un fenómeno cíclico; comienza con un cambio paulatino en el color del agua. Primero color marrón oscuro que luego, en cuestión de días, se torna verde. Eventualmente toda la superficie de estas lagunas se torna de este verde intenso (**Figura 1**). No es un fenómeno desconocido. Los residentes y pescadores del área lo vienen observando por décadas. Pero el problema no es el color verde, sino la mortandad masiva de peces que le sigue. De todas las especies y tamaños, peces y hasta cocolías, mueren, flotan y se acumulan en la orilla (**Figura 2**). La causa de muerte: ausencia de oxígeno en el agua.

El color verde se debe al crecimiento de una cianobacteria o alga verde azul llamada *Spirulina* (**Figura 3**). La *Spirulina* comienza a reproducirse rápidamente hasta crear una capa verde en la superficie del agua. El color verde en realidad es por la clorofila, una molécula dentro de la *Spirulina* que es, de hecho, la misma molécula que le da el color verde a las plantas. Cuando estas criaturas crecen y se reproducen intensamente, ocurre una explosión poblacional. A este fenómeno se le conoce también como una *floración de alta biomasa* (HAB, por sus siglas en inglés), pues se pueden encontrar miles de estas criaturas en apenas una gota de agua. Este fenómeno es provocado por la contaminación y la pobre circulación en los cuerpos de agua, es decir, cuando las lagunas reciben descargas de aguas usadas sin tratar ricas en nitrógeno, fosfato y materia orgánica. Estos compuestos nutren y fertilizan estas algas verde azules, estimulando así su crecimiento y reproducción. A este tipo de contaminación se le conoce como *eutroficación antropogénica*. Pero una vez se agotan estos compuestos, las *Spirulinas* mueren y se descomponen. Esta descomposición es la que consume el oxígeno disuelto creando condiciones de poco o ningún oxígeno (*anoxia*) en el agua.

La anoxia es la causante de la mortandad masiva de peces y crustáceos en estas lagunas. Durante estos eventos, hemos



Figura 1. Color verde intenso observado en la Laguna San José y Laguna Los Corozos durante una explosión poblacional o floración de alta biomasa.



Figura 2. Mortandad masiva de mojarra (*Diapterus plumieri*) (superior), cocolías (*Callinectes sapidus*) (centro), y róbalos (*Centropomus undecimalis*) (inferior) por ausencia de oxígeno en la Laguna San José y la Laguna Los Corozos durante una floración de alta biomasa.



Figura 3. Filamentos de las cianobacterias o alga verde azules del genero *Spirulina* que provocan la floración de alta biomasa en la Laguna San José, Canal Suárez y Laguna Los Corozos.

LA SPIRULINA

Ayer y hoy

La *Spirulina* es una criatura microscópica del grupo de las cianobacterias o algas verde azules. Estas son bacterias que realizan fotosíntesis, es decir, utilizan la luz solar para producir oxígeno tanto en ambientes marinos como en agua dulce. Se consideran fósiles vivientes pues se originaron hace 3.5 billones de años y transformaron el planeta en aquel entonces pues fueron las primeras formas de vida en producir oxígeno. Hoy día son cultivadas para consumo humano pues son ricas en proteínas (entre un 50% a un 70%), vitaminas y otros nutrientes esenciales.

Parámetro de calidad de agua	Laguna San José	Canal Suárez
Oxígeno disuelto (mg/L)	2.4	1.4
Aceites y grasas (mg/L)	BDL**	BDL**
Nitrógeno total (mg/L)	4.94	4.87
Nitratos y nitritos (mg/L)	0.02	0.02
Fósforo total (mg/L)	BDL**	0.023
Amonio (mg/L)	0.340	0.029
Carbón orgánico total (mg/L)	16.1	12.8
Clorofila a (mg/m ³)	463	558
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	17.2	22.8
Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)	17	19
Coliformes fecales (CFU* /100mL)	26	10
Enterococcus (CFU* /100 mL)	< 10	< 10

Tabla 1. Parámetros de calidad de agua medidos durante el evento de mortandad de peces en la Laguna San José y el Canal Suárez ocurrido en octubre de 2013.

*CFU= Cantidad de colonias bacterianas

**BDL= Bajo los límites de detección del método analítico

observado anoxia y niveles de oxígeno por debajo de los 2 mg/L—los crustáceos y los peces en su mayoría necesitan al menos 4 mg/L de oxígeno para vivir. La **Tabla 1** presenta parámetros de calidad de agua cuantificados durante un evento de explosión poblacional de *Spirulina* y mortandad de peces en octubre de 2013. Nótese la baja concentración de oxígeno y la alta concentración de clorofila, de sólidos suspendidos totales y de carbón orgánico, condiciones características de una floración de alta biomasa.

Para eliminar o minimizar este fenómeno, hay que eliminar las fuentes de aguas sanitarias y otros contaminantes que llegan a estos cuerpos de agua, y mejorar la circulación de la Laguna San José y Los Corozos a través del dragado y restauración del Caño Martín Peña.

Agradecemos a la Dra. Loretta Roberson, Catedrática Auxiliar del Departamento de Ciencias Ambientales de la Universidad de Puerto Rico, Recinto de Río Piedras, por identificar y proveer las fotos de la Spirulina, criatura causante del color verde en la Laguna San José, Canal Suárez y Laguna Los Corozos.



4 Toxicología

Capítulo 8 Pregúntale a los peces: uso de indicadores ambientales en el Estuario de la Bahía de San Juan 48

Introducción 48

Contaminantes en los sedimentos 48

Contaminantes en los tejidos animales 50

Cambios en la contaminación a través del tiempo 51

¿Cómo se compara el Estuario de la Bahía de San Juan con otros estuarios de Puerto Rico? 51

Capítulo 8

Pregúntale a los peces: uso de indicadores ambientales en el Estuario de la Bahía de San Juan

por: Ricardo J. Colón-Rivera, Ph.D., Ecólogo, Programa del Estuario de la Bahía de San Juan

INTRODUCCIÓN

El Estuario de la Bahía de San Juan (Estuario) tiene muchos cuerpos de agua de disfrute público (**Figura 1**) y una variedad de ecosistemas que son de vital importancia para la sociedad. Los manglares, por ejemplo, protegen la costa de la erosión y las marejadas ciclónicas. Por otro lado, las lagunas y los humedales costeros actúan como esponjas cuando llueve mucho y evitan inundaciones en la ciudad.

Debido a su gran importancia para la salud y el buen funcionamiento de nuestra sociedad, es importante saber si los cuerpos de agua del Estuario están contaminados, qué los contamina y por qué se encuentran en ese estado. Por tal razón, el Programa del Estuario de la Bahía de San Juan (PEBSJ) recientemente auspició un estudio donde se evaluó la concentración de ciertos contaminantes en los sedimentos y organismos de las aguas del Estuario (Otero y Meléndez, 2011). En el mismo, se utilizó como *indicador ambiental* la presencia de *metales traza* y otros contaminantes químicos en los sedimentos y en las muestras de tejidos de dos organismos que se consumen a menudo en el Estuario—la cocolía (*Callinectes sapidus*) y la mojarra (*Eugerres plumieri*) (**Figura 2**). Estos contaminantes pudieron haber llegado a los cuerpos de agua del Estuario desde una zona bastante amplia.

Cuando tratamos de visualizar lo que es en sí un estuario — un lugar donde el agua dulce de los ríos y quebradas se mezcla con el agua salada del mar—tenemos que ampliar nuestro punto de vista más allá del mero punto donde el cuerpo de agua desemboca en el mar e incluir toda la *cuenca hidrográfica*. Una cuenca hidrográfica es toda el área tierra adentro donde se capta el agua de lluvia y se drena hacia la costa. La cuenca del Estuario de la Bahía de San Juan comienza en la zona de Caimito, en el sur del Municipio de San Juan, y se extiende

desde Toa Baja hasta Loíza. Esto quiere decir que los cuerpos de agua del Estuario son influenciados por las lluvias y demás aguas provenientes de ocho municipios del área metropolitana (**Figura 1**). Más aún, una gran cantidad de espacio— sobre el 70%— dentro de esta cuenca se encuentra impermeabilizado por brea y cemento. Esto significa que cada vez que llueve, la lluvia limpia las calles y se lleva todos los sedimentos, aceites, basura y demás contaminantes, y los deposita directamente en lugares como la Bahía de San Juan, la Laguna del Condado, la Laguna San José y la Laguna La Torrecilla. El estudio de Otero y Meléndez (2011) se realizó durante los meses de verano de 2011 en 18 estaciones de muestreo de la cuenca hidrográfica del Estuario que incluyeron la Laguna San José, la Laguna Los Corozos, el Caño Martín Peña, la Laguna de Piñones, la Bahía de San Juan, la Laguna del Condado, la Laguna La Torrecilla, el Canal Suárez, y la desembocadura del Río Puerto Nuevo y el Río Piedras (**Figura 1**).

A continuación, presentamos un breve resumen de los contaminantes encontrados en el Estuario. Para información adicional sobre cada contaminante puede referirse al glosario incluido al final de este capítulo.

CONTAMINANTES EN LOS SEDIMENTOS

De acuerdo con los resultados obtenidos por Otero y Meléndez (2011), en comparación con otros cuerpos de agua dentro del Estuario, la Laguna San José presenta concentraciones altas de selenio, antimonio, plomo y mercurio en sus sedimentos. Este cuerpo de agua recibe descargas directas de la Quebrada San Antón y la Quebrada Juan Méndez, las cuales drenan áreas urbanas. Lo cual, en combinación con el flujo limitado de agua en la laguna, podría explicar la presencia de



Figura 1. Cuenca hidrográfica del Estuario de la Bahía de San Juan.

dichos contaminantes. Esta contaminación en los sedimentos representa una de las razones principales por la cual no se debería nadar en la Laguna San José y, mucho menos, perturbar el fondo o entrar en contacto directo con los sedimentos. Sin embargo, otras actividades recreativas como la pesca deportiva y los paseos en bote no deben afectarse por esta situación.

La Bahía de San Juan, por su parte, arrojó concentraciones altas de arsénico y níquel en sus sedimentos. Si consideramos el uso principal de esta bahía, quizás no sea sorpresa la presencia de estos contaminantes. Sobre el 90% de los productos que se consumen en la isla, tanto mercancías como alimentos, entran por la Bahía de San Juan. La constante entrada y salida de barcos, sumado a las actividades industriales típicas de una zona portuaria tan activa como los muelles de San Juan, podrían explicar las altas concentraciones de estos elementos en sus sedimentos.

Por otra parte, los estuarios son sistemas dinámicos, es decir, son cambiantes y sus aguas siempre están en movimiento. Este movimiento es causado por el vaivén de las mareas y el viento. En lugares donde el agua no circula bien, los sedimentos se acumulan, y con ellos los contaminantes. En términos generales, los lugares del Estuario que presentan las concentraciones más preocupantes de metales traza son las dos entradas del Caño Martín Peña, y lugares de muy poca circulación como Laguna Los Corozos y la esquina este de la Laguna del Condado. Esto demuestra la importancia de que el agua circule bien por todos los rincones del Estuario. En específico, estos resultados resaltan la importancia y urgencia de comenzar el dragado del Caño Martín Peña cuanto antes.

El lugar donde se encontró la menor cantidad de metales traza fue la Laguna de Piñones. Sin embargo, en la misma se registraron

concentraciones muy altas de mercurio. Esto es curioso porque la Laguna de Piñones está bastante aislada de insumos hidrológicos, o lo que es decir, recibe poco suministro de agua de otras fuentes. Esto en sí explica la baja cantidad de contaminantes en sus sedimentos, ya que muchos de los contaminantes que se estudiaron provienen de descargas de ríos y alcantarillas. Por lo tanto, los altos niveles de mercurio que presenta la laguna probablemente se deben a la deposición atmosférica, es decir, al mercurio que se encuentra en el aire y que se deposita poco a poco en la laguna. En consecuencia, este fenómeno hace patente la necesidad de expandir la investigación científica en esta laguna para confirmar o rechazar cualquier hipótesis que se haya formulado sobre la causa de estos niveles altos de mercurio.

CONTAMINANTES EN LOS TEJIDOS DE ANIMALES

Como mencionamos anteriormente, para determinar cómo los químicos encontrados en los sedimentos se han introducido a la cadena trófica, o cadena alimentaria, del Estuario se analizó la concentración de estos contaminantes en los tejidos (la carne y vísceras) de dos especies importantes de consumo humano: la mojarra y la cocolía (**Figura 2**). Ambos organismos obtienen su alimento del fondo de las lagunas, convirtiéndose así en excelentes indicadores de la invasión de estos contaminantes en la red alimentaria.

La mojarra (*Eugerres plumieri*) es un pez que no alcanza un tamaño muy grande y que se pesca comúnmente con tarraya en lugares como la Laguna San José y el Canal Suárez. Este pez se usa tanto para consumo humano como para carnada. Según los resultados del estudio, en los tejidos de las mojarras se encontró arsénico, cobre, selenio, zinc y mercurio en la mayoría de los estaciones. Asimismo, se detectó la presencia de ciertos insecticidas como DDT y sus derivados. Aunque estudios anteriores sobre contaminantes en el Estuario indican que la concentración de DDT se ha mantenido constante, su uso es ilegal desde la década de 1970.

La cocolía (*Callinectes sapidus*), por su parte, es un cangrejo estuarino de color gris-azul y tiene unas patas traseras adaptadas para nadar rápidamente. Debido a su gran sabor, es un marisco popular tanto en Puerto Rico como en todas las partes del mundo donde habita. En las cocolías del Estuario se detectaron los insecticidas Alfa-BHC y DDT.



Figura 2. La cocolía (*Callinectes sapidus*, arriba) y la mojarra (*Eugerres plumieri*, abajo) son organismos que habitan en el Estuario de la Bahía de San Juan.

CAMBIOS EN LA CONTAMINACIÓN A TRAVÉS DEL TIEMPO

El estudio de Otero y Meléndez (2011) no ha sido el único que ha evaluado la presencia de contaminantes en el Estuario a través del tiempo. Desde finales de la década de 1990 la EPA, el PEBSJ y otros investigadores independientes han realizado investigaciones en la zona. Por ejemplo, en un estudio realizado por los investigadores Webb y Gómez en el 1998, se tomaron muestras profundas para analizar la presencia de contaminantes en diferentes capas del suelo estuarino y así determinar cómo éstos se fueron concentrando a través del tiempo. Entre el 1998 y el 2006 estudios de esta índole, en general, han reportado concentraciones mayores de contaminantes a las encontradas en el estudio de Otero y Meléndez (2011).

¿CÓMO SE COMPARA EL ESTUARIO DE LA BAHÍA DE SAN JUAN CON OTROS ESTUARIOS DE PUERTO RICO?

El Estuario recibe el insumo de una cuenca hidrográfica muy urbanizada, cubierta de brea, cemento y actividad humana residencial e industrial, lo cual causa la presencia de contaminantes en nuestras aguas. A medida que el desparrame urbano y la actividad industrial ha aumentado en las últimas décadas, también ha aumentado la presencia de metales pesados y metales traza, como arsénico y selenio, en los cuerpos de agua. Para poder determinar la mejor manera de restaurar la calidad de agua del Estuario, es útil saber en qué estado se encuentran otros estuarios en Puerto Rico y qué lecciones podemos aprender de su historia ecológica.

A un lado de la balanza tenemos el estuario de la Bahía de Guánica. Aunque en el Estuario de la Bahía de San Juan se han encontrado niveles preocupantes de metales y contaminantes orgánicos, un estudio reciente de la NOAA ha declarado al estuario de la Bahía de Guánica como el más contaminado en la isla. No obstante, el caso de Guánica es de cierta manera similar al del Estuario. En ambos, los contaminantes principales hallados son metales pesados y metales traza, con la diferencia de que en Guánica las concentraciones de pesticidas han ido en aumento. Esto tal vez se deba a que en la cuenca de la Bahía de Guánica las industrias y la agricultura han sido mucho más activas, por ende la alta presencia de pesticidas agrícolas y metales en sus sedimentos. Una de las propiedades más preocupantes de estos contaminantes es su persistencia en el ambiente. Usualmente, los pesticidas se componen de moléculas muy estables que no se degradan en el agua ni en el suelo. Esto resulta en una contaminación persistente

y duradera, que debería atenderse con urgencia pues representa una amenaza al bienestar humano tanto a corto como a largo plazo.

Por otro lado tenemos a la Bahía de Jobos en Salinas. Luego del Estuario de la Bahía de San Juan, La Bahía de Jobos es el segundo estuario más grande de Puerto Rico. Sin embargo, la cuenca hidrográfica de la Bahía de Jobos no ha sido sujeta a tanto desarrollo urbano o industrial. El uso principal de la tierra circundante ha sido la agricultura. De tal forma, no es sorprendente que en este caso los estudios realizados han demostrado que aunque existe una presencia de metales pesados en los sedimentos de este estuario, la proporción de los mismos sugiere que su origen ha sido natural (Apeti et al., 2012). Por tal razón, aunque en general la Bahía de Jobos presenta concentraciones más altas de contaminantes que otros cuerpos de agua altamente contaminados en la zona, — como La Parguera— se considera que su nivel de contaminación se encuentra entre bajo y moderado (Aldarondo et al., 2010).



INDICADORES AMBIENTALES

Los **indicadores ambientales** son elementos fáciles de estudiar que se encuentran en el ambiente y que sirven para medir el estado de salud general del ecosistema. Estudiar su ausencia, presencia y abundancia en nuestros cuerpos de agua nos da una idea del estado de salud de los mismos.



Figura 3. Procedimiento para la toma de muestras de tejidos de mojarras (*Eugerres plumieri*) y cocolías (*Callinectes sapidus*), como parte del estudio de Otero y Meléndez (2011). En el mismo, se utilizó como indicador ambiental la presencia de metales traza y otros contaminantes químicos en los sedimentos y en las muestras de tejidos de estos organismos que se consumen a menudo en el Estuario. Luego de pescar los organismos (A, B y C), se procedió a extraer las muestras de tejidos para análisis (D y E). En la foto F, embarcación y parte del equipo utilizado para obtener las muestras (Fotos cortesía del Dr. Ernesto Otero-Morales).¹

En conclusión, tenemos un sistema que refleja la actividad humana que lo domina. Al igual que muchos estuarios importantes en el mundo, nuestro Estuario es la casa de nuestra ciudad capital y zona metropolitana, así como de infraestructura vital como puertos y aeropuertos. Sin embargo, la discusión sobre cuán contaminado está y la presión ambiental a la que está sujeto no debería dar la impresión de que el ecosistema está perdido o que ya no hay vuelta atrás. Los ecosistemas pueden tener mucha resiliencia, es decir, pueden tener una gran capacidad de recuperación. Siempre valdrá la pena restaurarlos, limpiarlos y protegerlos. Monitorearlos constantemente y evaluar sus niveles de contaminación es la mejor manera de conocer cómo nuestros esfuerzos de mejoramiento ambiental van rindiendo frutos.

¹ Agradecemos al Dr. Ernesto Otero-Morales del Departamento de Ciencias Marinas de la Universidad de Puerto Rico, Recinto de Mayagüez, por compartir las fotografías del procedimiento realizado para la toma de muestras de sedimentos y tejidos (ver figura 3, página 52).

Referencias

Aldarondo-Torres, J.X., Samara, F., Mansilla-Rivera, I., Aga, D. S., and Rodríguez-Sierra, C.J. 2010. Trace metals, PAHs, and PCBs in sediments from the Jobos Bay area in Puerto Rico. *Mar. Pollut. Bull.* **60**, 1350-8.

Apeti, D.A., Withall, D.R., Pait, A.S., Dieppa, A., Zitello, A.G., and Lauenstein, G.G. 2012. Characterization of land-based sources of pollution in Jobos Bay, Puerto Rico: status of heavy metal concentration in bed sediment. *Environ. Monit. Assess.* **184**, 811-30.

Otero, E., and Meléndez, A. 2011. Report Estuarine Environmental Indicators for the San Juan Bay Estuary: Assessment of Sediment and Fish Tissue Contaminants.

Webb, R.M.T., and Gómez-Gómez, F. 1998. Synoptic Survey of Water Quality and Bottom Sediments, San Juan Bay Estuary System, Puerto Rico, December 1994-July 1995. U.S. Geological Survey, Water Resources Investigations Report 97-4144, San Juan, PR.



GLOSARIO

Antimonio: se usa para endurecer otros metales, como componente de baterías, y para prevenir incendios en gomas y adhesivos.

Selenio: se usa en artículos electrónicos ya que es buen conductor de electricidad. También se encuentra en cristales industriales y como suplemento en alimento de ganado.

Plomo: se usaba frecuentemente como aditivo en pinturas antes del 1978, por lo que suele ser un problema en estructuras que tienen capas de pintura más antiguas de esa fecha. Además, el volumen de flujo vehicular está directamente relacionado con la cantidad de plomo que llega a un cuerpo de agua.

Mercurio: es una neurotoxina peligrosa que afecta el desarrollo del cerebro en los niños y la memoria en los adultos. Su fuente principal son los desperdicios industriales y residenciales, y la quema de carbón y otros combustibles para generar energía, lo cual inyecta mercurio en el aire donde se transporta y se deposita en otras localidades.

Arsénico: en su forma inorgánica es muy tóxico. Aunque se encuentra naturalmente en la tierra en bajas concentraciones, el exceso de arsénico puede vincularse a los desechos industriales y agrícolas.

Níquel: se usa como aditivo en otros metales, particularmente en joyería. Exposición continua al níquel puede causar dermatitis.

Cobre: su fuente principal en el ambiente es la quema de combustibles fósiles, la incineración de desperdicios sólidos y los desperdicios de la agricultura industrial. El cobre en el suelo es tóxico para algunos microorganismos pues interrumpe el ciclo de nutrientes.

Zinc: su fuente principal se encuentra en el flujo vehicular y las escurrientías que fluyen de estacionamientos y calles, así como los desechos industriales y sus descargas de agua asociadas. Aunque no es necesariamente tóxico para los humanos, el zinc interrumpe los procesos biológicos del suelo y es tóxico para la vida acuática.

PCBs: o bifenilos policlorados, son un grupo de aproximadamente 200 compuestos químicos sumamente estables y carcinógenos. Por su estabilidad se utilizaban en lubricantes y materiales a prueba de fuego. Lamentablemente esa misma estabilidad química los hace muy persistentes en los ecosistemas y a pesar de haber sido prohibidos en 1977 todavía se encuentran en el ambiente en concentraciones alarmantes.

PAHs: o hidrocarburos poliaromáticos, son un grupo amplio de compuestos que en su mayoría provienen de la combustión incompleta de los carros y otras fuentes de quema de combustible. Aunque no son tan persistentes en el ambiente como los PCBs, son carcinógenos y se encuentran con frecuencia en la escurrientía urbana.



5 Flora y Fauna

Capítulo 9 Crónica de una restauración: la Laguna del Condado 56

Impacto colonial 56

Tiempos modernos 56

Calidad de sus aguas 56

Restauración comunitaria 58

Diversidad y protección de hoy y siempre 61

Un futuro cercano: restauración del fondo y de las praderas de yerbas marinas 61

Capítulo 10 Caimanes en el Estuario de la Bahía de San Juan 63

Capítulo 9

Crónica de una restauración: la Laguna del Condado

por: Jorge Bauzá-Ortega, Ph.D., Director Científico, Programa del Estuario de la Bahía de San Juan

IMPACTO COLONIAL

La Laguna del Condado fue el primer cuerpo de agua en ser impactado y alterado por el humano en todo el sistema del Estuario de la Bahía de San Juan (Ellis 1976). Ya para el 1625, los españoles construyeron un puente que unía la Isleta de San Juan con el distrito del Condado y Miramar. Aunque fue relocado para el siglo XVIII a la actual posición del Puente Dos Hermanos, esto dividió la laguna en dos partes. Más tarde, en el 1797, los ingenieros españoles colocaron grandes piedras de caliza en la entrada a la laguna, llamada el Boquerón, para evitar la entrada e invasión de piratas y corsarios holandeses y franceses. Esta medida de protección se sumó al Fuerte San Gerónimo, construido previamente sobre una isleta de eolianita en la entrada a la laguna desde el Océano Atlántico. En otras palabras, la alteración en la circulación e hidrología de la laguna comenzó en los mismos inicios de la colonización. Más tarde, los manglares fueron eliminados para hacer espacio a la siembra de palmas de coco y para la producción de carbón.

TIEMPOS MODERNOS

El impacto continuó en los tiempos modernos pues para la década de 1950 la porción sur de la laguna se rellenó para la construcción de la Avenida Baldorioty de Castro. Unos 10 años después, para la década del 1960, la parte norte fue entonces rellenada para la construcción de hoteles, hospederías, clubes nocturnos y otros establecimientos. De hecho, se utilizaron sedimentos extraídos del propio fondo de la laguna para ambas actividades de relleno. El resultado es que estos eventos redujeron el área total de la Laguna de 50 hectáreas a 32 hectáreas, es decir, en un 38% (Figura 1). Pero a su vez

aumentó el volumen en un 23% (de 1.1 a 1.42 millones de metros cúbicos) debido a las depresiones en el fondo resultantes de la extracción de relleno.

CALIDAD DE SUS AGUAS

Ahora bien, las aguas de la laguna sufrieron el mayor impacto. Por ejemplo, a la altura del 2 de junio del 1955, el periódico El Mundo proponía que para atajar el problema del alto grado de contaminación que sufrían las aguas de la Laguna del Condado se procediera a “secar las 95 cuerdas de la Laguna y desarrollar [allí] un complejo hotelero y turístico o embecellar las áreas aledañas a la Laguna que la naturaleza tiende a secar”. Una década después, el Departamento de Salud determinó que “las aguas de la Laguna del Condado se podían clasificar como muy contaminadas y en condiciones adversas a cualquier uso en el cual dichas aguas vinieran en contacto directo con el cuerpo humano” (Periódico El Mundo, 9 de julio de 1968, citado de Rivera-Cabrera, 1990).

En aquel entonces la laguna tenía 1,828 fuentes de contaminación. Un estudio realizado por la Escuela de Medicina de la Universidad de Puerto Rico en 1968 (Sanitary Survey of the Condado Lagoon, 1968) identificó 254 estructuras residenciales, hoteleras y de hospedería que descargaban sus aguas sanitarias sin tratar directamente a la laguna. A esto se sumaban unas 1,029 que lo hacían a través de conexiones directas al sistema de alcantarillado pluvial, y otras 545 a través de tanques sépticos. De hecho, los conteos de coliformes totales fueron de hasta 7 millones de colonias en 100 ml de agua. Todas las estaciones o puntos muestreados durante ese estudio excedían los estándares de calidad de agua promulgados por la Junta de Calidad Ambiental de Puerto Rico (JCA).

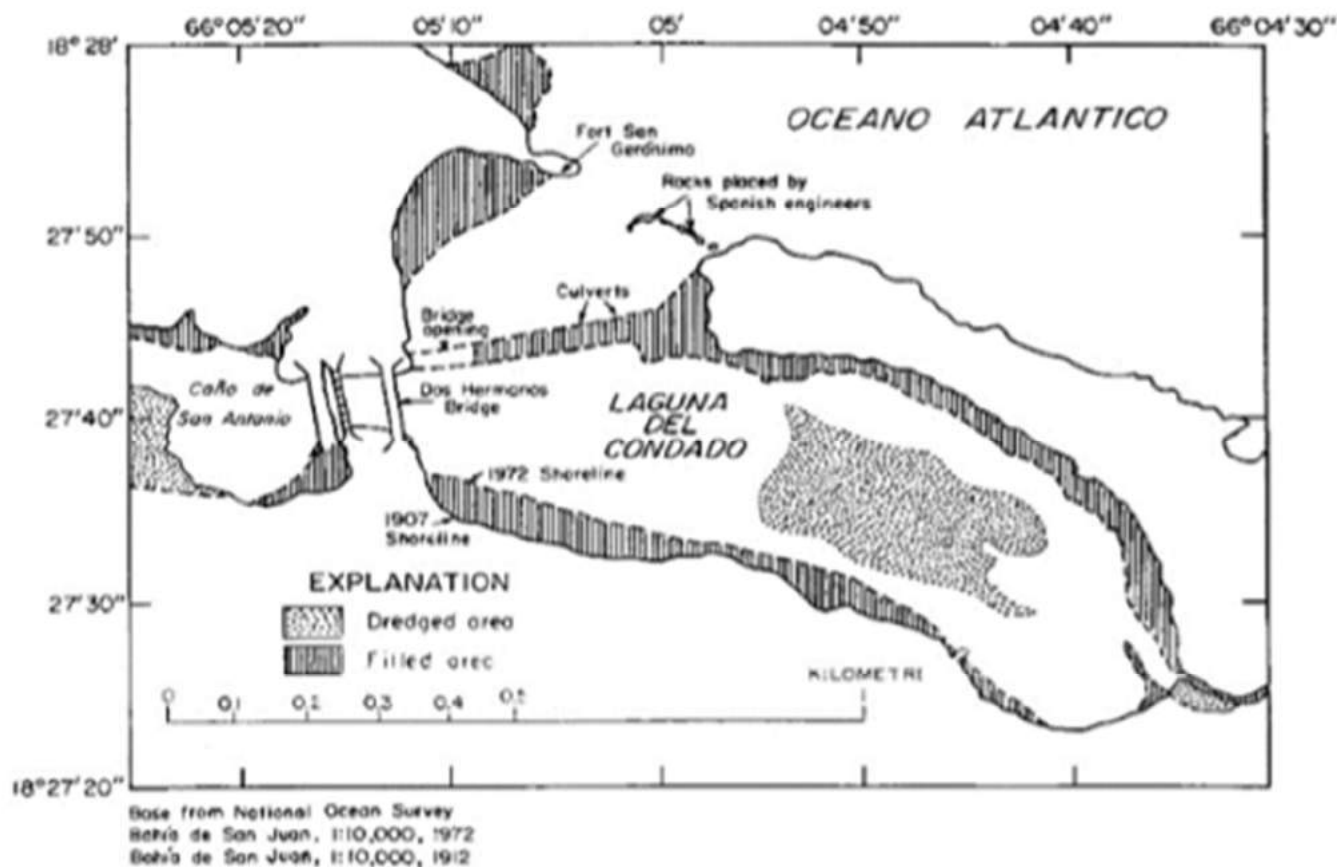


Figura 1. Áreas rellenadas y dragadas en la Laguna del Condado (Ellis, 1976).

Según Rivera-Cabrera (1990), no fue hasta el 1969 que comenzaron oficialmente los esfuerzos para mejorar la calidad del agua en el Laguna del Condado. Para ese entonces, la Autoridad de Acueducto y Alcantarillados (AAA) construyó dos troncales sanitarias. Una troncal serviría a la sección norte (Avenida Ashford), mientras que la otra se encargaría de la sección sur (sector de Miramar). Estudios realizados por la Agencia de Protección Ambiental en 1971 demostraron que estos esfuerzos de la AAA mejoraron la calidad del agua, pues a la fecha se reflejaba una reducción en los conteos de coliformes fecales. No obstante, a pesar de la mejoría, continuaban muy altos como para permitir el contacto directo con el cuerpo humano.

Así, a partir de 1971 la JCA en coordinación con la AAA, desarrolló un programa para actualizar, eliminar y corregir las fuentes de descargas de agua sanitarias identificadas en el estudio de la Escuela de Medicina del 1968. Durante ese periodo se realizaron inspecciones visuales y pruebas con tinte. En adición, se evaluaron planos y mapas para eliminar las conexiones directas al siste-

ma de alcantarillado pluvial. Simultáneamente, se construyeron líneas sanitarias, se repararon pozos sépticos, se instalaron sistemas de bombeo y se realizaron limpiezas y obras de mantenimiento a las líneas sanitarias. En consecuencia, ya para el 1973 se observaba un mejoramiento significativo en la calidad de las aguas de la Laguna del Condado. Para el 1974, ya no existían zonas con ausencia de oxígeno (anóxicas) en el fondo de la Laguna del Condado.

Gracias a todos estos esfuerzos, hoy día la calidad del agua de esta laguna es buena (ver Capítulo 1 del presente informe). No obstante, la Laguna del Condado aún experimenta impactos en sus aguas producto del desbordamiento del sistema de alcantarillado sanitario, derrames de pinturas y hasta combustibles que llegan por el sistema de alcantarillado pluvial (Figura 2 y Figura 3). Afortunadamente estos eventos son episódicos y la buena circulación de la laguna ayuda en la dilución y dispersión de estos contaminantes. Muchos de estos derrames han sido atendidos con prontitud gracias a la buena voluntad de los vecinos, que notifican



Figura 2. Desbordamiento de aguas sanitarias en los registros de las alcantarilla de sistema sanitario.

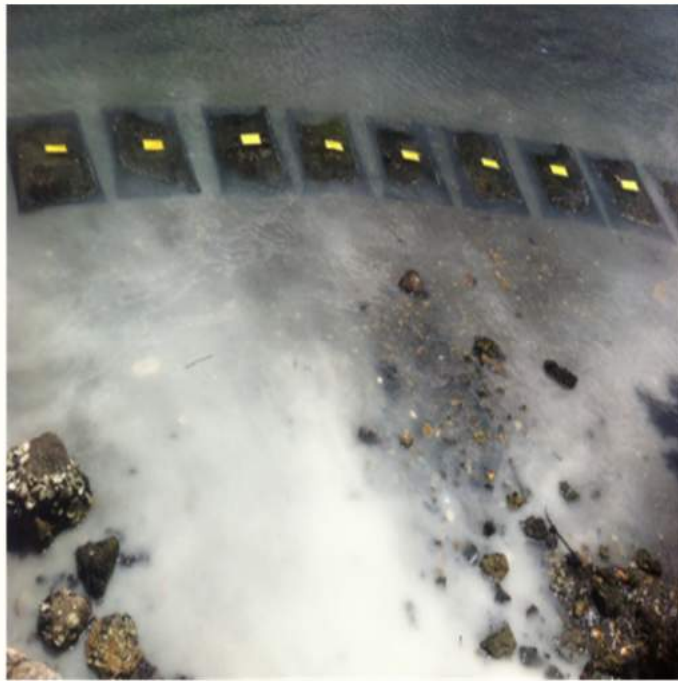


Figura 3. Descarga de pintura desde un salidero de aguas pluviales en la Calle Aguadilla, Laguna del Condado. Las canastas al fondo de la imagen fueron parte de un proyecto piloto para utilizar ostras nativas para mejorar la calidad del agua (ver capítulo 2).

de inmediato estos eventos. Además, hay que reconocer la excelente labor del personal comprometido de agencias como la AAA, la JCA, la Agencia de Protección Ambiental (EPA) y el Municipio de San Juan que han actuado con diligencia para corregir estos problemas (**Figura 4**).

RESTAURACIÓN COMUNITARIA

Gran parte del manglar que sobrevivió a la deforestación inicial fue eliminado por las actividades de dragado y relleno antes mencionadas. Reconociendo las funciones y valores que provee el manglar y lo perjudicial de su pérdida, a partir del 2007 el Programa del Estuario de la Bahía de San Juan (PEBSJ) comenzó la reforestación y siembra de mangle en los márgenes de la Laguna del Condado. Al día de hoy se han sembrado 1,389 plántulas de mangle rojo (*Rhizophora mangle*) con la ayuda de la comunidad y otros grupos voluntarios (**Figura 5**).

Asimismo, en el 2008 el PEBSJ comenzó la colocación de arrecifes artificiales (45 módulos tipo Taíno Reefs®) en el fondo de la laguna. Estos son estructuras en cemento que proveen hábitat para las criaturas marinas. De esta forma se aumentó la biodiversidad de especies acuáticas en fondos arenosos y se creó una vereda interpretativa submarina. Tan pronto como a dos años de su construcción, se documentaron 49 especies de peces y se duplicó la cantidad de los mismos en esta parte de la laguna (**Figura 6**). Hoy, unas 2,500 colonias de coral crecen sobre la superficie de la vereda (**Figura 7**). Actuando como un corredor ecológico submarino, la vereda conecta praderas de yerbas marinas y otras comunidades marinas fragmentadas en el fondo de la Laguna del Condado. Además de los beneficios ecológicos, la misma provee oportunidades recreativas y educativas, pues permite al visitante— con el equipo adecuado— observar peces y otras criaturas marinas en su medio ambiente natural.

Por último, en el 2013 se comenzó a implementar otro proyecto de base comunitaria titulado *La Laguna del Condado es mi hogar, cero basura en nuestros cuerpos de agua*. Este proyecto identificó, caracterizó y eliminó basura marina en la Laguna del Condado. Además, se publicó una Guía Ciudadana, componente de educación para prevenir el desecho de desperdicios en este cuerpo de agua. La misma provee al ciudadano 22 acciones específicas para proteger y conservar la Laguna del Condado. Este proyecto ha contado con la participación de 163 voluntarios que en 11 limpiezas realizadas han recogido un total de 1,683 libras de



Figura 4. Juan Carlos Pérez de la JCA y el Dr. Jorge Bauzá-Ortega del PEBSJ inspeccionando obras de mejoramiento del sistema de alcantarillado sanitario en la Calle Mayagüez, Laguna del Condado.

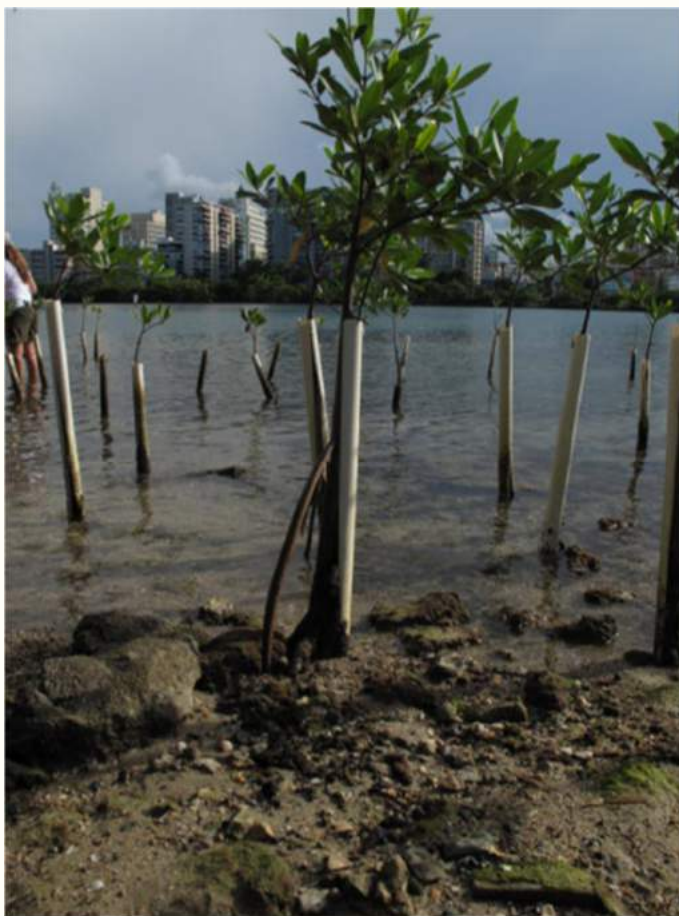


Figura 5. Árboles de mangle rojo en crecimiento sembrados por voluntarios en los márgenes de la Laguna del Condado.



Figura 6. Diversidad de peces utilizando como hábitat los arrecifes artificiales en la Laguna del Condado.



Figura 7. Colonias de coral creciendo sobre los arrecifes artificiales en la Laguna del Condado.



Figura 8. Botellas colectadas en el fondo de la Laguna del Condado.



Figura 9. Grupo de buzos certificados limpiando el fondo de la Laguna del Condado.

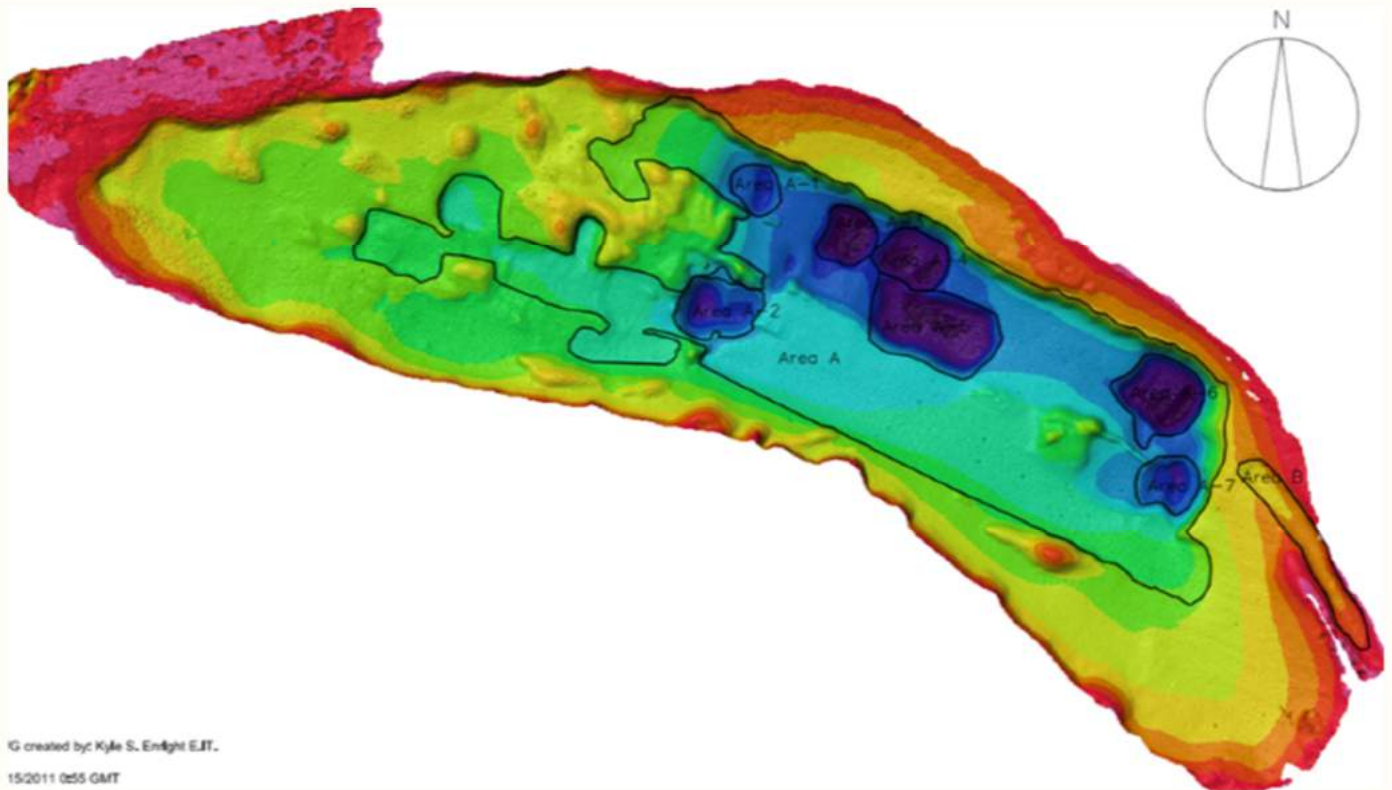


Figura 10. Depresiones (áreas sombreadas en azul) en el fondo de la Laguna del Condado producto de las actividades de dragado en la década de 1950.

basura (**Figura 8**). Gran parte de estas limpiezas se han realizado en el fondo marino gracias al tiempo voluntario de buzos certificados (**Figura 9**). El proyecto es financiado con fondos de la Administración Nacional de Océanos y Atmósfera en colaboración con el Municipio de San Juan.

DIVERSIDAD Y PROTECCIÓN DE HOY Y SIEMPRE

Gracias a estos esfuerzos, la Laguna del Condado es uno de los cuerpos de agua más diversos en fauna y flora acuática que forman parte del Estuario. En sus aguas habitan diversas especies de peces tropicales y crustáceos incluyendo especies en peligro de extinción, como el manatí antillano (*Trichechus manatus manatus*), la tortuga verde (*Chelonia mydas*) y el Carey de concha (*Eretmochelys imbricata*). Contiene, además, comunidades coralinas, manglares y extensas praderas de yerbas marinas. Para ser exactos, se han documentado 124 especies de peces tropicales y, si incluimos las aves, anfibios y reptiles, el número asciende a 300 especies. Su valor recreativo iguala su valor ecológico, pues es utilizada por miles de turistas y residentes que disfrutan de su playa arenosa y practican deportes acuáticos pasivos como la tabla vela, remo y buceo.

Por tal razón, y para preservar su valor ecológico y recreativo, se designó este cuerpo de agua como la Reserva Estuarina de la Laguna del Condado mediante la Ley Núm. 112 del 30 de septiembre de 2013. Mediante esta ley se protege la Laguna de Condado a través de un plan de manejo y la promulgación de la reglamentación necesaria para la administración, rehabilitación y conservación de la laguna. El plan de manejo incluirá acciones para promover el buen uso de la laguna con actividades de bajo impacto ecológico y campañas educativas para proteger las especies en peligro de extinción. Además, prohíbe por ley el uso de embarcaciones de motor y la pesca y captura de especies.

UN FUTURO CERCANO: RESTAURACIÓN DEL FONDO Y DE LAS PRADERAS DE YERBAS MARINAS

Como hemos mencionado anteriormente, el fondo de la laguna fue dragado creando visibles cicatrices y profundas depresiones. Ellis (1976) estimó que la laguna perdió aproximadamente 261,590 yardas cúbicas de su fondo. Posteriormente, se identificaron 7 depresiones, algunas de las cuales alcanzan 34.1 pies (10.4 metros) de profundidad (estudio comisionado por el PEBSJ en el

2011). Estas depresiones se ubican en la porción central y oriental de la laguna (**Figura 10**). Esta es una depresión considerable, pues la profundidad histórica de la Laguna del Condado es mucho menor, de unos 7.6 pies (2.3 metros) sin exceder los 23 pies (7 metros). Estas depresiones están desprovistas de herbazales marinos pues no les llega la luz que estas plantas necesitan para vivir.

La Acción HW-2 del Plan Integral de Manejo y Conservación del Estuario de la Bahía de San Juan pretende restablecer las praderas de yerbas marinas perdidas por el dragado de la Laguna del Condado. Para lograrlo, es imperativo devolverle a la laguna su profundidad original. Esto implica depositar arena y sedimentos de excelente calidad en las depresiones. De esta forma, llegaría al fondo la luz necesaria para que estas plantas acuáticas puedan crecer. A su vez, esta restauración tendría el efecto de reducir el tiempo de intercambio de las aguas en la laguna, permitiendo así que ésta reemplace sus aguas con el Océano Atlántico más rápidamente. Para ser exactos, se necesitan unas 327,000 yardas cúbicas de arena y sedimentos para lograr este proyecto.

Habiéndose transformado de “pozo séptico panorámico” a primera reserva estuarina urbana en Puerto Rico, la Laguna del Condado es un vivo ejemplo de un cuerpo de agua en proceso de restauración, digno de emular en otros cuerpos de agua y que ilustra las posibilidades de restauración alcanzables si todos los sectores de nuestra sociedad se unen y trabajan hacia el mismo fin.

Referencias

- Ellis, S.R. 1976. History of Dredging and Filling of Lagoons in the San Juan Area, Puerto Rico. Prepared in cooperation with the Commonwealth of Puerto Rico, U.S. Geological Survey Water Resources Investigation 38-76. 25 pp.
- Rivera-Cabrera T. 1990. Restauración de la Laguna del Condado y Playas del Condado. JCA. Camino al 2000, Forjando Hoy una Mejor Calidad de Vida. San Juan, P.R. 9 al 14 de septiembre de 1990. Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS).
- Sanitary Survey of the Condado Lagoon. 1968. Report published by the School of Medicine, University of Puerto Rico.



Servicios gratuitos

Las yerbas marinas proveen un sin número de beneficios y servicios gratuitos. Por ejemplo, son fuente de alimentos y refugio para más de 154 especies acuáticas, incluyendo especies amenazadas y en peligro de extinción como el manatí antillano, la tortuga verde y el caballito de mar (*Hippocampus sp.*) Además, producen grandes cantidades de oxígeno y absorben nutrientes, como nitratos y fosfatos. Por otro lado, estabilizan los sedimentos y amortiguan la erosión producto de las marejadas y corrientes. En otras palabras, una mayor cantidad de yerbas marinas se traduce en aguas más limpias y oxigenadas. Además, contribuyen a aumentar significativamente la biodiversidad acuática.

Pero, ¿qué son las yerbas marinas?

Las yerbas marinas son plantas del grupo de las Angiospermas que producen flores y semillas. Éstas son descendientes de las plantas terrestres que volvieron al mar hace 100 millones años. Algunas forman extensas praderas en el fondo marino donde las aguas son transparentes y llega la luz del sol. En la Laguna del Condado se han identificado principalmente tres especies, la yerba de tortuga (*Thalassia testudinum*), la yerba de manatí (*Syringodium filiforme*) y la yerba de paleta (*Halodule decipiens*). Estos ecosistemas actúan como áreas de conexión entre las raíces sumergidas del mangle rojo en la costa y los arrecifes de coral en aguas más profunda.

Capítulo 10

Caimanes en el Estuario de la Bahía de San Juan

por: Jorge Bauzá-Ortega, Ph.D., Director Científico, Programa del Estuario de la Bahía de San Juan

El caimán (*Caiman crocodilus*) fue introducido en Puerto Rico en la década de 1970 a través del mercado de mascotas, y de forma intencional por motivación propia de algunos individuos. Los avistamientos de caimanes en el Estuario de la Bahía de San Juan (Estuario) comenzaron a hacerse cada vez más frecuentes, razón por la cual en el 2010 el Programa del Estuario de la Bahía de San Juan (PEBSJ) contrató al Dr. Rafael Joglar del Proyecto Coquí y al Ecólogo Walter Soler de Ambienta, Inc. para realizar un breve estudio sobre la presencia del caimán, *Caiman crocodilus* (Figura 1), en el Estuario.

Básicamente, el estudio consistió en realizar una serie de entrevistas a pescadores, cazadores, residentes y personal de manejo del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales, entre otros, y realizar viajes de reconocimiento nocturnos. En estos viajes de campo se hizo una evaluación rápida de la presencia de caimanes mediante censos visuales. Esta especie es de hábitos secretivos durante el día. Por lo tanto, los censos se realizaron durante la noche, que es cuando más activos se encuentran estos animales, haciéndolos más fácil de localizar a distancia pues sus ojos reflejan un destello rojo al ser alumbrados por una linterna.

Se realizaron un total de 8 censos visuales en la Laguna San José, la Laguna Los Corozos, el Caño Martín Peña, la Quebrada Juan Méndez, la Quebrada San Antón, el Canal Villa Mar, el Canal Suárez, la Laguna La Torrecilla, la Laguna de Piñones y la Quebrada Blasina (Figura 2). El número de avistamientos varió entre 4 y 14 caimanes en una noche, para un total de 38 avistamientos durante el estudio. La mayor cantidad de caimanes se observó en la Quebrada Juan Méndez (Figura 3), donde se avistaron hasta 12 caimanes en una sola noche, y en la Laguna San José (Figura 4). El informe detallado sobre estos hallazgos está disponible en la página web del PEBSJ (www.estuario.org) bajo el área científica.



Figura 1. Caimán adulto en el Canal Margarita—adyacente al antiguo vertedero de San Juan, hoy campo de Golf del Municipio de San Juan— en los predios del proyecto de control de inundaciones del Río Puerto Nuevo. (Foto por Alejandro Cubiñá, Presidente y Biólogo Titular de Reforesta, Inc.)



Figura 2. Área de estudios donde se realizaron viajes de reconocimiento visual en botes y canoas durante la noche.



Figura 3. Quebrada Juan Méndez donde se contabilizaron hasta 14 caimanes (puntos en la imagen) en una misma noche en un transecto de 150 metros.



Figura 4. Área de humedal en la Laguna San José donde se estableció una zona de observación de una hectárea. Los puntos en la imagen representan los avistamientos.



ESPECIE CENTINELA

El caimán puede utilizarse como *especie centinela*. Las especies centinela son organismos que acumulan en sus tejidos contaminantes presentes en el medio ambiente, como metales pesados, pesticidas y restos de medicamentos. Al ser depredadores ubicados en los niveles altos de la cadena alimentaria de su hábitat, van acumulando estos contaminantes en mayor grado (biomagnificación). De tal forma, se crea en sus cuerpos un registro de las condiciones ambientales de su entorno.



Figura 5. Arriba, caimán hembra sobre el nido en el sector Playita, Laguna San José. Esta foto, tomada por Fernando Silva, es la primera documentación oficial de un nido en el Estuario. Abajo, huevo del caimán.



Figura 6. Caimán hembra en sector Playita, Laguna San José mostrando conducta protectora del nido. (Foto por Fernando Silva)

En el 2013, Peter Román, pescador y presidente de la Asociación Playera de la comunidad de Playita en Villa Palmeras descubrió lo que creyó ser un nido de caimán a orillas de la Laguna Los Corozos. Román compartió sus sospechas con Fernando Silva Caraballo, quien confirmó el hallazgo y junto al Dr. Rafael Joglar y otros colaboradores de la Península de Cantera examinaron y documentaron el nido. (**Figura 5**). Según comunicación personal con Silva, la hembra demostró una conducta agresiva, lo cual es un comportamiento típico de muchas especies como una respuesta dirigida a proteger su madriguera o nido de todo aquello que pueda representarle una amenaza. (**Figura 6**). Este evento constituye el primer hallazgo de un nido de caimán que ha sido documentado en el Estuario o en cualquier otro lugar de Puerto Rico.

Agradecemos a Fernando Silva Caraballo, Director del Instituto de Ciencias para la Conservación de Puerto Rico (INCICO), por compartir la información y las fotos sobre el nido de caimán encontrado en la comunidad de Playita en Villa Palmeras (ver figuras 5 y 6). También agradecemos a Alejandro Cubiñá, Presidente y Biólogo Titular de Reforesta, Inc. por la foto del caimán adulto en el Canal Margarita (ver figura 1, página 63).

Referencias

Watlington, F. 2002. Stranger in a lost paradise: *Caiman crocodilus*, Puerto Rico's own aliengator. Proceedings of the 16th Working Meeting of the IUCN-SSC Crocodile Specialist Group. IUCN: Gland.

EL CAIMÁN EN NUESTRO ESTUARIO



Apuntes de historia natural

El caimán (*Caiman crocodilus*) es una especie de reptil oriunda de Centro y Sur América, desde México hasta Ecuador, Venezuela, Colombia, Perú, Brasil y Bolivia. Es una especie que se adapta muy bien a llanos costeros y bajos, asociados con ambientes ribereños y humedales de agua dulce, aunque también tolera ciertos grados de salinidad. Se alimenta de insectos, tortugas, peces, aves, caracoles y crustáceos como los cangrejos de tierra y las cocolías. Es además una especie muy tolerante a cambios ambientales, como las sequías, pues tiene la facultad de entrar en un estado de reposo prolongado o dormancia. La hembra deposita entre 20 y 40 huevos en nidos formados por montículos de suelo y vegetación. Estos eclosionan a los 90 días. Curiosamente, la temperatura del nido durante la incubación determina el sexo del caimancito. Es decir, si la temperatura fue baja produce más hembras que machos, y de ser alta nacerán más machos que hembras. La hembra es extremadamente maternal durante el cuidado de los pequeños. Una vez los juveniles alcanzan la edad de entre 4 y 7 años, ya están listos para reproducirse.

Dilema ecológico del caimán y recomendaciones

El caimán es una especie introducida en Puerto Rico y su impacto en la ecología del Estuario es un tanto desconocido. No obstante y según expertos en el tema, hay motivo de preocupación pues estos pueden estar impactando por depredación las poblaciones de peces, crustáceos y aves nativas, algunas ya amenazadas por otras causas. De mayor preocupación para muchos es el riesgo de ataques, especialmente a niños, mascotas o personas cuando intervienen para capturarlos. Además, existe la posibilidad de que sean vectores de patógenos, es decir, que transporten o transmitan enfermedades. Curiosamente, otros expertos en el tema sostienen que estas especies se han naturalizado y que ya cumplen una función ecológica importante. Ellos alegan que la introducción de especies, así como la extinción, es un proceso natural ecológico en la dinámica poblacional de las especies. Cabe señalar que en Puerto Rico se han encontrado restos fósiles de una especie de caimán ya extinto, el *Crocodylus acutus* (Watlington, 2002). La recomendación del PEBSJ es evitar acercarse a estas especies y de ser posible notificar a las agencias pertinentes, como al Departamento de Recursos Naturales y Ambientales.



6 Educación y Participación Ciudadana

Capítulo 11 Maximizando la participación pública en la implementación del Plan de Manejo

Integral del Estuario de la Bahía de San Juan 68

Estuario 360: limpia, siembra y monitorea la cuenca del Estuario 68

Día de Monitoreo de Calidad de Agua de Puerto Rico 71

Actividades educativas 71

Jardines del Estuario: proyecto de restauración urbana 72

El Estuario en las redes sociales 72

Capítulo 11

Maximizando la participación pública en la implementación del Plan de Manejo Integral del Estuario de la Bahía de San Juan

por: Gladys Rivera, Gerente de Participación Ciudadana, Programa del Estuario de la Bahía de San Juan

El Plan Integral de Manejo del Estuario de la Bahía de San Juan establece la necesidad de aumentar la conciencia pública en cuanto a las funciones y valores del Estuario de la Bahía de San Juan (Estuario). Para esto, el Programa del Estuario de la Bahía de San Juan (PEBSJ) continúa incluyendo en sus actividades anuales oportunidades para que los ciudadanos y ciudadanas se involucren en los esfuerzos de restauración, conservación y educación formal e informal sobre el Estuario.

Los voluntarios y voluntarias son y han sido una pieza clave en las actividades de restauración. Durante los pasados tres años, nuestros voluntarios han ofrecido sobre 9,000 horas de servicio voluntario en diferentes actividades del programa. Se han certificado 41 líderes voluntarios en el área de monitoreo de agua, manejo de actividades de restauración y educación. Asimismo, durante este periodo se han efectuado 89 actividades restauración y monitoreo de agua donde los ciudadanos han tenido la oportunidad de brindar su servicio como ciudadanos científicos (**Figura 1**). En el mes de septiembre de 2013 se reconoció públicamente la labor de 30 voluntarios destacados en las áreas de censo de aves, monitoreo de agua y actividades de restauración y educación (**Figura 2**).

ESTUARIO 360: LIMPIA, SIEMBRA Y MONITOREA LA CUENCA DEL ESTUARIO

Durante el 2013 se realizó una serie de actividades concurrentes— el mismo día y a la misma hora— en diferentes partes del Estuario, cubriendo los cuatro puntos cardinales de nuestra cuenca hidrográfica. En la actividad se integraron grupos comunitarios, empresas, agencias y público en general. En tres días se llevó a cabo un total de 20 eventos, don-

de un gran grupo de ciudadanos proveyó sobre 500 horas de servicio voluntario. El gran resultado fue la recolección y disposición apropiada de aproximadamente 3,000 libras de basura (**Figura 3**).

Durante los eventos de Estuario 360 (ver afiche al final de este capítulo) se efectuaron esfuerzos de limpieza y monitoreo de agua en Isla de Cabras, la antigua desembocadura del Río Bayamón en Toa Baja, la costa de la Bahía de Cataño, la ciénaga Las Cucharillas y la Península de la Esperanza en Cataño. En el área de San Juan se trabajó en la Laguna del Condado, en el Huerto Urbano de Capetillo, en las quebradas Ausubo y Chiclana, y en la Laguna San José. En el Municipio de Loíza se efectuaron siembras de restauración de dunas, donde los voluntarios sembraron palmas y árboles de uva playera en dos áreas muy impactadas por la erosión costera. De igual modo, se continuó con los esfuerzos de salvar el árbol Cobana Negra— árbol endémico que está en peligro de extinción— con una siembra en el área del Bosque de Piñones.

Agradecemos la colaboración de quienes hicieron posible este evento. Primeramente, a la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) y al Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA) en el Bosque Estatal de Piñones y el Parque Nacional de Isla de Cabras. También agradecemos a los municipios de Cataño y San Juan, a la organización Corredor del Yagüazo de Juana Matos en Cataño, al Huerto y Bosque Urbano de Capetillo, a la organización el Arboretum de Cupey, al vivero del Parque Doña Inés Mendoza por su donación de árboles de Cobana Negra, y a los cientos de voluntarios que ofrecieron su tiempo para llevar a cabo Estuario 360.



Figura 1. Voluntarios del Programa del Estuario de la Bahía de San Juan (PEBSJ) brindando servicio comunitario.



Figura 2. Actividad de reconocimiento de voluntarios destacados en los diferentes esfuerzos del PEBSJ.



Figura 3. Voluntarios unen esfuerzos durante el evento Estuario 360: limpia, siembra y monitorea, auspiciado por el PEBSJ.

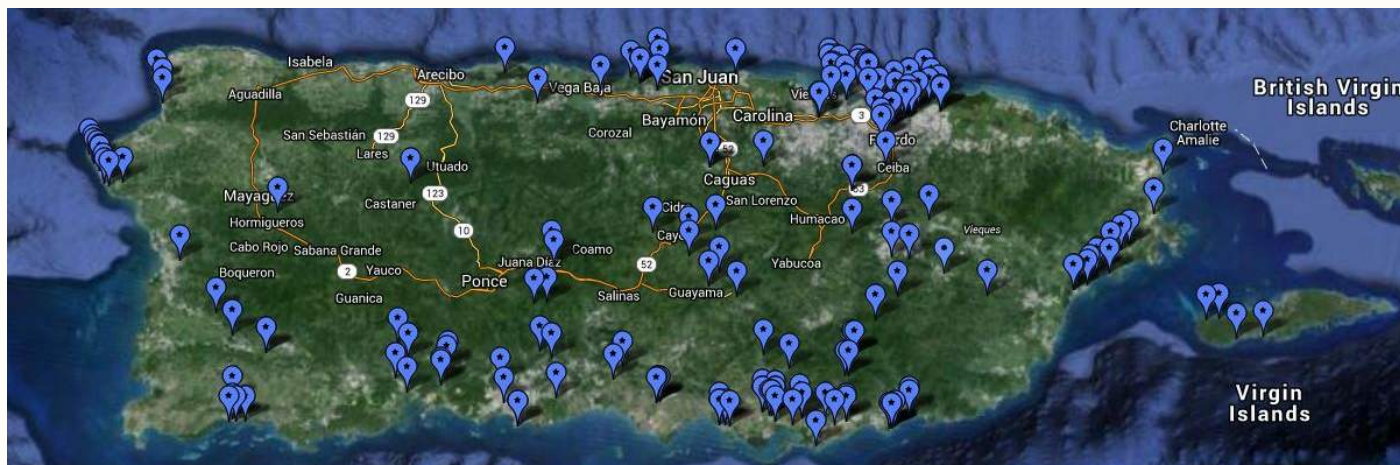


Figura 4. Mapa interactivo que muestra los datos recopilados por voluntarios cada año en el Día de Monitoreo de Calidad de Agua auspiciado por el PEBSJ (disponible en <http://estuario.org>).

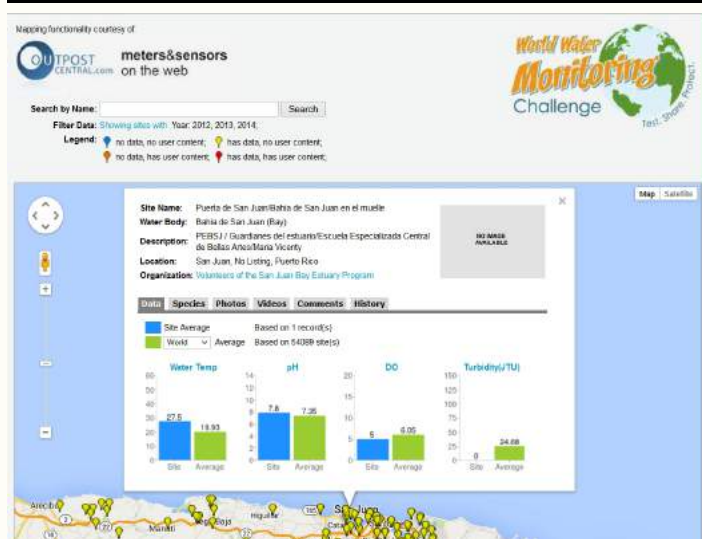


Figura 5. Mapa interactivo de la organización internacional World Water Monitoring Challenge. El mismo incluye la información sobre la calidad de agua de los diferentes cuerpos de agua de Puerto Rico obtenida por voluntarios del PEBSJ (<http://www.worldwatermonitoringday.org/outpost/map.aspx>).



Figura 6. Opusculo informativo del World Water Monitoring Day destacando los esfuerzos del voluntariado del PEBSJ.

DÍA DE MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA DE PUERTO RICO

Este evento se celebra anualmente en el mes de abril y reúne voluntarios de toda la isla para efectuar actividades de monitoreo de calidad de agua. El mismo se ha llevado a cabo desde el 2009, año en el cual se proclamó por primera vez el 24 de abril como el Día de Monitoreo de Calidad de Agua de Puerto Rico. Durante este tiempo, hemos logrado aumentar el número de estaciones de monitoreo de menos de 20 al comienzo del proyecto, a sobre 200 estaciones en el 2013. Las mismas han recibido sobre 1,300 visitas cada año. Los datos recopilados están disponibles en un mapa interactivo de Puerto Rico en nuestra portal cibernético, donde se pueden observar las diferentes estaciones de monitoreo y ver el nombre del grupo o colaborador que trabajó en cada estación (**Figura 4**). Los datos también son enviados a la organización internacional World Water Monitoring Challenge (WWMC) para ser incluidos en una base de datos mundial accesible en portal cibernético de la organización (**Figura 5**). Asimismo, el WWMC ha destacado nuestros eventos locales de monitoreo en su publicación mundial y en el opúsculo informativo de su equipo de monitoreo que se distribuye en 51 países (**Figura 6**). Estos eventos¹ se logran con la colaboración entre del PEBSJ y agencias de gobierno, como son la Junta de Calidad Ambiental de Puerto Rico y el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales, así como con otras organizaciones y la empresa privada.

ACTIVIDADES EDUCATIVAS

En el área de educación formal, el PEBSJ ha impactado hasta la fecha sobre 1,918 estudiantes, maestros y padres a través de actividades educativas. Talleres educativos y módulos de enseñanza fueron creados y utilizados tanto en el salón de clase como en viajes educativos por el Estuario (**Figura 7**). Un buen ejemplo de estas nuevas herramientas es *Mi diario científico*, un folleto que los niños pueden utilizar como bitácora de sus expediciones de campo, haciendo anotaciones sobre sus experiencias y observaciones en sus viajes por el Estuario. Por otro lado, el proyecto de ciencia ciudadana *Guardianes del Estuario* continúa brindando la oportunidad a jóvenes de escuelas públicas y privadas de adoptar un cuerpo de agua y a la vez desarrollar proyectos de educación de pares en sus escuelas. Igualmente, durante el 2013 se integró la educación estuarina a través de las artes con excelentes resultados.



Figura 7. Estudiantes tomando un taller educativo del PEBSJ.



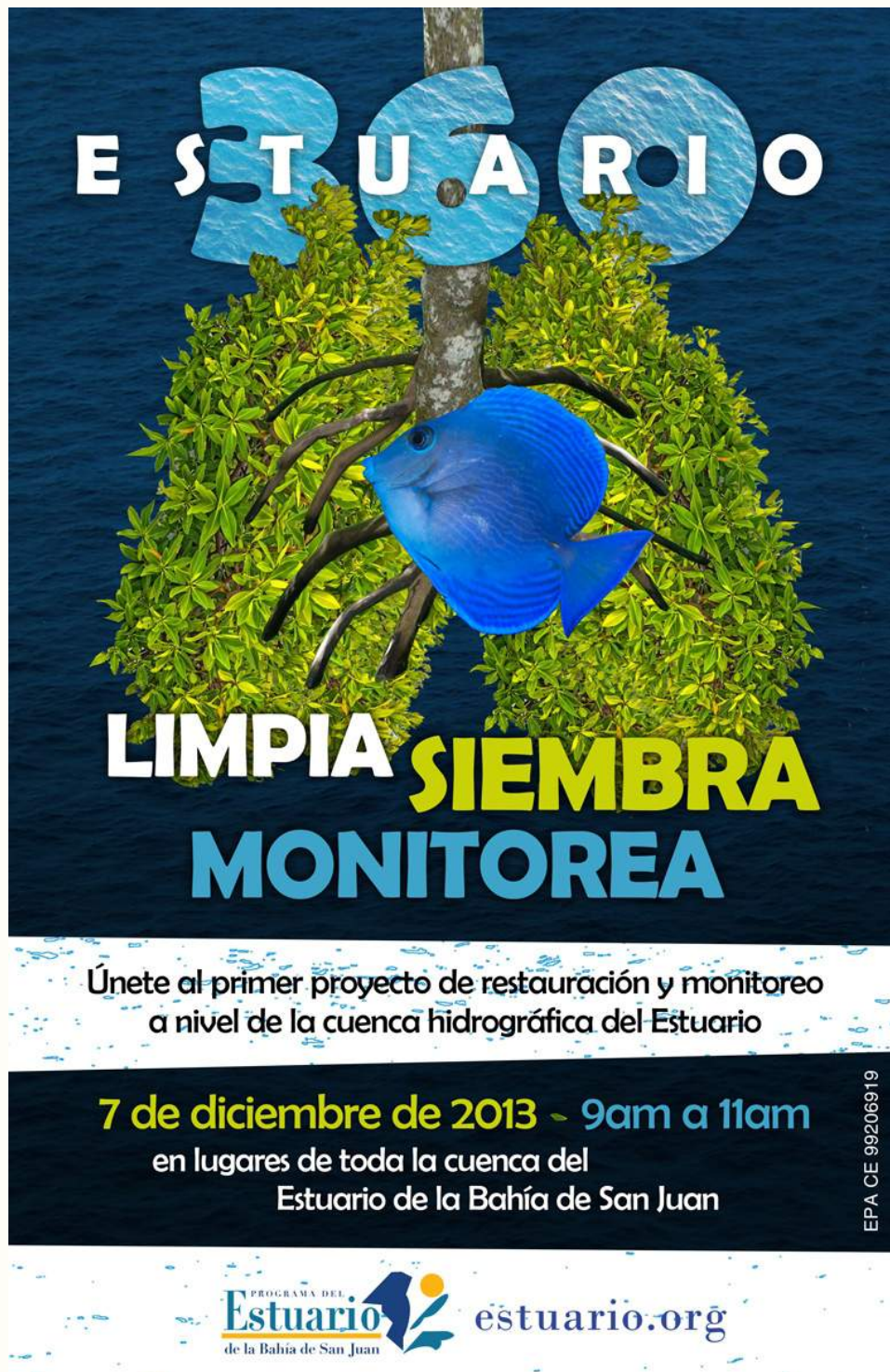
Figura 8. Voluntarios participan en intervenciones del proyecto Jardines del Estuario del PEBSJ en la Avenida Ponce de León en Santurce.

JARDINES DEL ESTUARIO: PROYECTO DE RESTAURACIÓN URBANA

Lo que comenzó como una inquietud sobre la falta de árboles en un área tan urbanizada como lo es Santurce, terminó con la implementación de un proyecto de alcance comunitario y de gran visibilidad para el PEBSJ. El programa *Jardines del Estuario* consiste en la construcción de jardines verticales en fachadas de edificios abandonados y vandalizados, con el propósito de embellecer y mejorar el entorno, así como para proveer más vegetación a los espacios altamente urbanizados. En un área que comprende 5.6 millas, se han sembrado hasta la fecha 369 plantas y 775 pies cuadrados de jardines verticales, para un total de 6 fachadas de edificios santurcinos restauradas por este proyecto (Figura 8).

EL ESTUARIO EN LAS REDES SOCIALES

Los esfuerzos de difusión de conocimiento sobre el Estuario y la promoción de participación pública incluyen un programa de comunicaciones que apoya las actividades de restauración, conservación y monitoreo de calidad de agua, además del reclutamiento de voluntariado. Para estos fines, se estableció una nueva página en Facebook— la principal red social en Puerto Rico— llamada *Estuario: Ciudad de las Aguas*, que ya cuenta con sobre 12,000 “likes”. La misma ha presentado un crecimiento de 158% en el número de seguidores durante el año en curso. La integración de las redes sociales combinadas con campañas de servicio público ha permitido también canalizar tráfico sistemáticamente hacia el portal cibernético del PEBSJ, www.estuario.org. Tan sólo en agosto de 2014 el mismo recibió la visita de 2,899 personas, de los cuales el 72% eran nuevos visitantes. Dichas iniciativas, sumadas a la actualización de bases de datos y la proyección de documentales y películas ambientales, han aumentado nuestra lista de voluntarios inscritos. Ésta incrementó de 1,339 a 2,166 en el último año, para un incremento total de 62%. Este aumento en la base de voluntarios inscritos ha sido crucial para el logro de los objetivos de nuestro Plan de Manejo Integral, así como para educar a la ciudadanía sobre la importancia de proteger los ecosistemas, especialmente los del Estuario.



ESTUARIO

**LIMPIA SIEMBRA
MONITOREA**

Únete al primer proyecto de restauración y monitoreo
a nivel de la cuenca hidrográfica del Estuario

7 de diciembre de 2013 - 9am a 11am
en lugares de toda la cuenca del
Estuario de la Bahía de San Juan

EPA CE 99206919

PROGRAMA DEL
Estuario
de la Bahía de San Juan

estuario.org

¹ Puede obtener más información sobre nuestros eventos de monitoreo de calidad de agua y otras actividades suscribiéndose a nuestro grupo de voluntarios (<http://estuario.org>), visitando nuestra página de Facebook, Estuario: Ciudad de las Aguas, o a través de la sección de noticias de nuestro portal cibernético (<http://estuario.org/index.php/noticias>).