

PROGRAMA DEL
Estuario
de la Bahía de San Juan



Segundo INFORME
**DE LA CONDICIÓN AMBIENTAL
DEL ESTUARIO DE LA BAHÍA DE SAN JUAN**
EDICIÓN 2009



Segundo **INFORME**
DE LA CONDICIÓN AMBIENTAL
DEL ESTUARIO DE LA BAHÍA DE SAN JUAN
EDICIÓN 2009

Preparado por el Dr. Jorge Bauzá
Asesor Científico del Programa del Estuario de la Bahía de San Juan
P.O. Box 9509 San Juan PR 00908



Segundo INFORME
DE LA CONDICIÓN AMBIENTAL
DEL ESTUARIO DE LA BAHÍA DE SAN JUAN
EDICIÓN 2009



**EQUIPO DE TRABAJO DEL
PROGRAMA DEL ESTUARIO DE LA BAHÍA DE SAN JUAN**

Javier E. Laureano - DIRECTOR EJECUTIVO

Cathy Ortiz - GERENTE DE OFICINA

Gladys Rivera - COORDINADORA DE PARTICIPACIÓN CIUDADANA

Dr. Jorge Bauzá - ASESOR CIENTÍFICO

INTRODUCCIÓN	1
EL ESTUARIO, SU CONDICIÓN, CUERPOS DE AGUA Y NUESTRO PROGRAMA	
SECCIÓN 1: AGUAS ESTUARINAS	
CAPÍTULO I	6
PROGRAMA DE MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA DEL ESTUARIO DE LA BAHÍA DE SAN JUAN	
CAPÍTULO II	19
ÍNDICES DE CALIDAD DE AGUA Y CALIFICACIONES	
CAPÍTULO III	21
COMPARACIÓN CON MUESTREOS PASADOS DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL ESTUARIO DE LA BAHÍA DE SAN JUAN	
CAPÍTULO IV	23
ESTACIONES DE MONITOREO A TIEMPO REAL	
SECCIÓN 2: SEDIMENTOS Y COMUNIDADES BÉNTICAS	
CAPÍTULO V	25
ESTUDIO DE METALES TRAZOS EN LA LAGUNA LA TORRECILLA Por: Michael Martínez-Colón y Pamela Hallock	
CAPÍTULO VI	28
ÍNDICE BÉNTICO PARA EL ESTUARIO DE LA BAHÍA DE SAN JUAN	
CAPÍTULO VII	29
ESTUDIO BATIMÉTRICO Y TIPOS DE FONDO DEL ESTUARIO DE LA BAHÍA DE SAN JUAN	
SECCIÓN 3: TOXICOLOGÍA	
CAPÍTULO VIII	32
TÓXICOS EN PECES Y CRUSTÁCEOS	
SECCIÓN 4: FLORA Y FAUNA	
CAPÍTULO IX	36
EL IMPACTO DE LA IGUANA IGUANA EN LOS ESCOSISTEMAS DEL ESTUARIO	
CAPÍTULO X	38
EVALUACIÓN DE LOS CENSOS NAVIDEÑOS DE AVES ACUÁTICAS DEL PROGRAMA DEL ESTUARIO DE LA BAHÍA DE SAN JUAN. Por: Laura L Fidalgo De Souza	
CAPÍTULO XI	43
PROYECTO DE REMOCIÓN Y MANEJO DE MELALEUCA QUINQUENERVIA EN LA CUENCA DEL CANAL SUÁREZ EN EL ESTUARIO DE LA BAHÍA DEL SAN JUAN-PRIMERA FASE CAROLINA, PUERTO RICO. Por: Walter E. Soler-Figueroa, Presidente, Ambienta Inc.	
CAPÍTULO XII	46
PROYECTO DE RESTAURACIÓN DE MANGLE ROJO (<i>RIZOPHORA MANGLE</i>)	
CAPÍTULO XIII	48
CREACIÓN DE LA VEREDA SUBMARINA DE ARRECIFES ARTIFICIALES EN LA LAGUNA DEL CONDADO	
SECCIÓN 5: EDUCACIÓN Y PARTICIPACIÓN CIUDADANA	
CAPÍTULO XIV	51
SU CONTRIBUCIÓN A LA RESTAURACIÓN Y MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA, SEDIMENTOS Y VIDA SILVESTRE DEL ESTUARIO DE LA BAHÍA DE SAN JUAN	

INTRODUCCIÓN

Un estuario es un área costera donde el agua dulce que fluye de los ríos, las quebradas y de la escorrentía pluvial se mezcla con el agua salada que proviene del océano. El sistema del Estuario de la Bahía de San Juan (EBSJ) incluye la Bahía de San Juan, la Laguna del Condado, la Laguna San José y los Corozos, la Laguna Torrecilla y la Laguna Piñones, así como los canales que interconectan estos cuerpos de agua como el Canal San Antonio, Canal Suárez y el Caño Martín Peña.

El agua dulce entra al sistema desde las quebradas y ríos de la cuenca hidrográfica, incluyendo el sistema del Río Piedras / Río Puerto Nuevo, las quebradas Juan Méndez, San Antón, Canal Blasina y el Canal de la Malaria. El agua de mar entra del Océano Atlántico por la Boca del Morro, El Boquerón en la Laguna del Condado y Boca de Cangrejos (ver **Mapa 1**). La extensión geográfica para cada cuerpo de agua del Estuario se presenta en la **Tabla 1**.



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

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 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.

El sistema del Estuario de la Bahía de San Juan (EBSJ) 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. De éstos encontramos 16 especies consideradas raras y únicas en Puerto Rico. La calidad del agua y sedimentos en el sistema del EBSJ está íntimamente relacionada con las características naturales y de impacto humano del sistema estuarino. El sistema se nutre tanto de las mareas, la geología y las corrientes en las lagunas como de las aguas marinas cerca de la costa. Por otro lado, se ve afectado por los impactos humanos, como el dragado y relleno, el desarrollo de áreas naturales y las descargas domésticas e industriales. En conclusión, la intensidad y diversidad de las actividades humanas que se llevan a cabo en el área metropolitana han influenciado de muchas formas la calidad de agua y sedimentos en el Estuario, deteriorando así en muchos casos sus funciones y valores.

CONDICIÓN DEL ESTUARIO

El documento que compartimos con usted presenta las condiciones del Estuario al día de hoy en términos de calidad de agua, metales en los sedimentos, tóxicos en peces y crustáceos. Además, resume los resultados de los estudios más recientes realizados en el Estuario de la Bahía de San Juan como el estudio de la iguana verde, la caracterización de los tipos de fondos estuarinos y los censos de aves. Incluye un resumen sobre las actividades de restauración dirigidas a los humedales y hábitáculos marinos. Este informe será línea base para medir el éxito de los futuros esfuerzos de restauración en el Estuario de la Bahía de San Juan.

Agradecemos la cooperación de Michael Martínez, Laura Fidalgo y Walter Soler por su contribución a este informe.

CUERPOS DE AGUA

Bahía de San Juan

La Bahía de San Juan es el componente más conocido del Estuario. Tiene aproximadamente 6.5 millas (10.5 km) de costa sumamente desarrolladas. Fue descrita por los primeros colonizadores como uno de los más esplendorosos puertos del Nuevo Mundo. La Bahía de San Juan se conecta con el Océano Atlántico a través de la Boca del Morro. Actualmente, recibe a través de sus aguas más del 80 % de los productos que llegan a nuestra Isla y sobre un millón de pasajeros en cruceros.

Canal San Antonio

Este canal de 1.2 millas (2 km) de extensión conecta la Bahía de San Juan con la Laguna del Condado. Sus márgenes albergan una gran variedad de instalaciones portuarias y marinas recreativas por lo que se considera un cuerpo de agua de importancia en la transportación y recreación marítima. En sus fondos encontramos herbazales marinos que sirven de hábitat a múltiples especies. Es una de las áreas en el Estuario donde se avistan caballitos de mar.

Ciénaga las Cucharillas

La Ciénaga las Cucharillas cubre aproximadamente 1,236 acres (500 ha), que consisten mayormente de humedales herbáceos, pero también incluye manglares y áreas de agua abierta. Ecológicamente, la Ciénaga contiene la más alta diversidad de aves acuáticas que se

haya documentado en todo el sistema del Estuario. La Ciénaga las Cucharillas desempeña funciones importantes para el control de inundaciones y el mejoramiento de la calidad de las aguas del Estuario.

Laguna del Condado

La Laguna del Condado es uno de los cuerpos de agua estuarino más diversos en términos de riqueza de fauna y flora acuática. En sus aguas habitan diversas especies de peces tropicales, crustáceos, esponjas y estrellas de mar, entre otros. Además, encontramos especies en peligro de extinción como tortugas marinas y el manatí antillano. Por otro lado, en la Laguna interaccionan ecosistemas como comunidades coralinas, manglares y extensas praderas de yerbas marinas. Por su alto valor ecológico, la Laguna del Condado es un área designada como Zona de No Captura por el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales, lo que significa que en sus aguas está prohibida la pesca y la captura de especies marinas.

El valor recreativo de la Laguna 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 de vela, remo y el buceo. La Laguna cubre un área aproximada de 102 acres y tiene salida al Océano Atlántico en el área conocida como El Boquerón, al este del Fuerte de San Gerónimo.

El Caño Martín Peña

Desde las décadas de 1940 y 1950, el área de los bordes y la zona del Caño Martín Peña recibe un gran impacto por el desarrollo residencial intenso y por la falta de una infraestructura adecuada para el manejo de las aguas sanitarias y desperdicios sólidos domésticos. Su situación se empeora particularmente a lo largo del segmento Este del caño, donde en un pasado los residentes utilizaron como material de relleno basura y escombros de construcción para ganar terreno al cuerpo de agua. 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 su ubica en sus bordes el Parque Lineal Enrique Martí Coll. El Caño mide aproximadamente 3.75 millas (6 km) de largo y conecta la Bahía de San Juan con la Laguna San José.

Laguna San José

La Laguna San José está localizada cerca del centro del sistema estuarino y ocupa aproximadamente 1,129 acres (475 ha). Al no tener una salida directa al Océano Atlántico, esta Laguna es la menos influenciada por las mareas pues el intercambio de agua entre la Laguna y la Bahía de San Juan se ve limitado por la acumulación de basura, la sedimentación y el crecimiento de maleza acuática en el segmento Este del Caño Martín Peña. La Laguna está bordeada por manglares y sustenta una de las mejores pescas recreativas en Puerto Rico. Pues en sus aguas se practica la pesca y liberación del sábalo, una especie de gran valor deportivo pues ofrece una pelea intensa y de mucho reto al pescador deportivo. Intercambia sus aguas con el Océano Atlántico a través del Canal Suárez.

Canal Suárez

El Canal Suárez es un canal de unas 2.4 millas (3.9 km) de largo que conecta La Laguna San José con la Laguna la Torrecilla y está poblado en su mayoría por mangle. Existen humedales herbáceos adyacentes

al canal. El Canal es el principal medio de intercambio de las aguas de la Laguna San José. En un recorrido por el Canal Suárez podemos observar varias especies de garza y otras aves acuáticas que se alimentan de pequeños peces y crustáceos o que descansan en las ramas de sus mangles.

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 bordeada de manglares. La Laguna Torrecilla está localizada en una planicie de inundación importante, y posee casi todos los tipos de humedales emergentes encontrados en Puerto Rico. Un dato importante es que junto con el Bosque de Piñones, la región donde se encuentra la Laguna la Torrecilla contiene el bosque de mangle más grande de Puerto Rico.

Laguna Piñones

La Laguna Piñones se encuentra al Este de la Laguna la Torrecilla y está rodeada por la Reserva Natural del Bosque Estatal de Piñones. Las Lagunas de Piñones y La Torrecilla, junto con el área de Vacía Talega-Torrecilla Alta, tiene aproximadamente 5,493 acres (2,223 ha) de mangle y 5,079 acres (2,056 ha) de humedales herbáceos. Esta Laguna no ha sufrido impactos significativos por el desarrollo por lo que se encuentra en su estado natural.

Ríos y Quebradas

El agua dulce entra al sistema desde las quebradas y ríos de la cuenca hidrográfica, incluyendo el Río Piedras / Río Puerto Nuevo que descarga al suroeste de la Bahía de San Juan, las quebradas Juan Méndez y San Antón las cuales descargan en la Laguna San José, Canal Blasina que descarga en la Laguna la Torrecilla y el Canal la Malaria el cual descarga en la parte noroeste de la Bahía de San Juan.



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 Federal de Protección Ambiental (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.

Para el 2000 se publica el Plan de Manejo y Conservación para el 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 20 de abril del 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. El Programa del Estuario es el único 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 pero a su vez se vean amenazados por el desarrollo de la cuenca hidrográfica.

El Programa mantiene una cantidad limitada de empleados (un promedio de cuatro empleados a tiempo completo) y sus funciones principales son las siguientes:

- a)** Promover y monitorear el proceso de implementación del Plan de Manejo.
- b)** Informar a los miembros de su Junta de Directores sobre la respuesta ambiental a este proceso de implementación.
- c)** Aglomerar y comunicar entre sí los esfuerzos de implementación del Plan de Manejo.
- d)** Realizar estudios para entender, conservar y manejar los recursos del Estuario de la Bahía de San Juan.
- e)** Mejorar la conciencia pública acerca del Estuario.
- f)** Redactar los planes de trabajo y el presupuesto anual.
- g)** Participar en los procesos de implementación del Plan de Manejo.

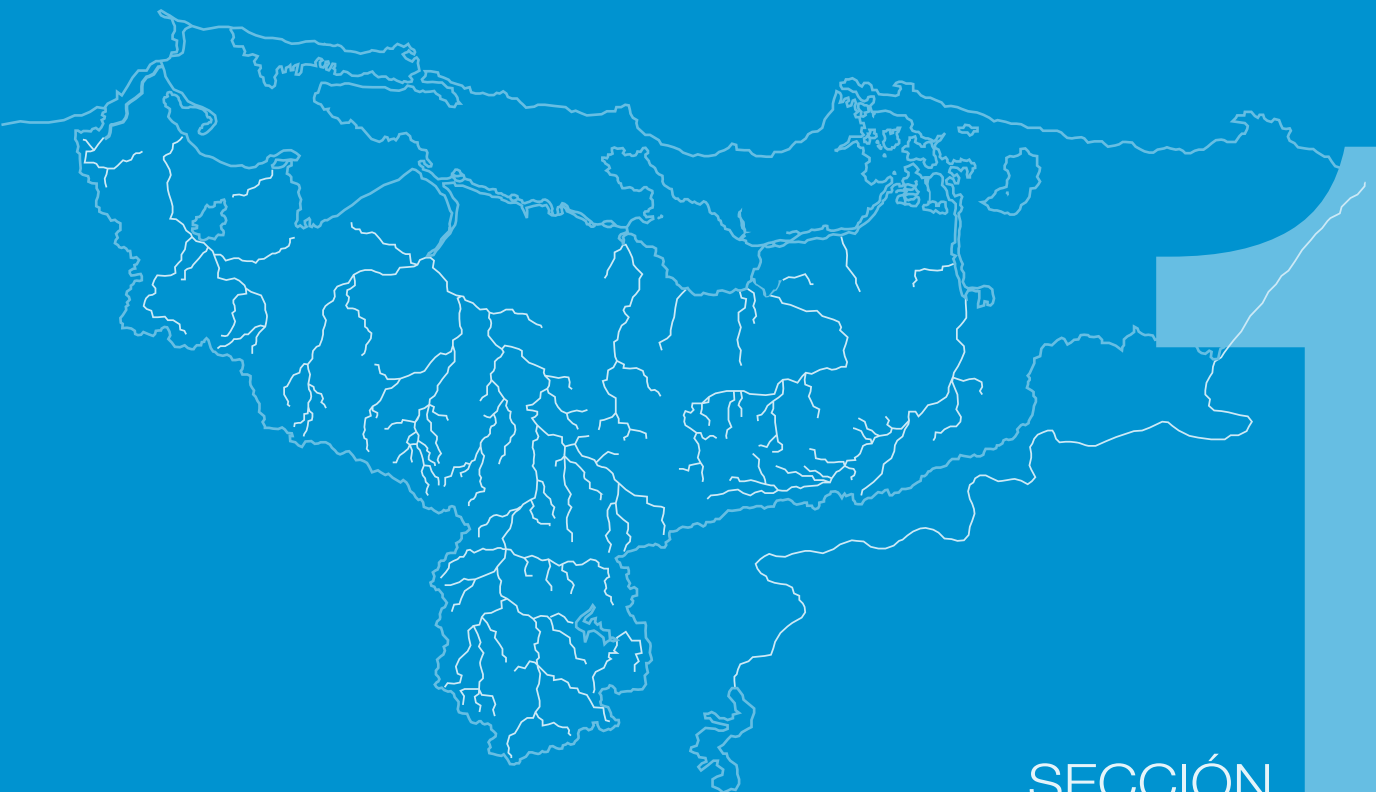


www.estuario.org

PROGRAMA DEL
Estuario
de la Bahía de San Juan



AGUAS ESTUARINAS



SECCIÓN

CAPÍTULO I

PROGRAMA DE MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA DEL ESTUARIO DE LA BAHÍA DE SAN JUAN

El Programa de Monitoreo de Calidad de Agua del Estuario de la Bahía de San Juan consiste de una serie de estudios de campo realizados periódicamente con el objetivo de medir y cuantificar parámetros de calidad de agua en el Estuario. Los parámetros son compuestos en el agua que se miden utilizando diferentes técnicas y nos indican la condición de salud del ecosistema. En otras palabras, como indicadores ambientales nos dicen si los cuerpos de agua se encuentran funcionando de manera óptima o si por el contrario existen problemas que están afectando los mismos.

Como parte del Programa de Monitoreo de Calidad de Agua del EBSJ, se visitan 21 estaciones de monitoreo en ríos, quebradas, canales, lagunas y la Bahía en un total de 14 cuerpos de agua (Figura 1). Las visitas de campo que cubre el presente estudio se realizaron mensualmente (12) por un (1) año. Durante las mismas, se colectaron muestras de agua para medir la concentración de los siguientes parámetros: nutrientes (nitratos, nitritos y fósforo total), bacterias indicadoras de contaminación fecal (coliformes fecales y enterococos), aceites y grasas, demanda biológica de oxígeno (BOD), clorofila, carbón orgánico total, oxígeno disuelto y niveles de turbidez. También se determina la transparencia del agua.

El monitoreo de indicadores de calidad de agua se asemeja a los exámenes de salud rutinarios con nuestro médico de cabecera. Lo primero que hace nuestro médico es referirnos a un laboratorio clínico para hacernos unas pruebas o medir unos parámetros en particular. En base a los resultados, el médico determina nuestra condición de salud y hace recomendaciones. El monitoreo de indicadores de calidad de agua funciona de manera similar. Muchas veces observamos cuerpos de agua que no aparentan tener ningún problema. No es hasta que medimos unos parámetros que nos damos cuenta de la presencia de contaminantes. Los estuarios son cuerpos vivos y como tal hay que monitorearlos.

Al monitorear estos parámetros determinamos si las acciones de restauración comprendidas en el Plan integral de manejo y conservación del EBSJ (CCMP, por sus siglas en inglés) están siendo efectivas o por el contrario si hay que diseñar nuevas medidas y

estrategias de restauración. El Programa de Monitoreo de Calidad de Agua del EBSJ tiene los siguientes objetivos principales:

- Determinar la condición actual del Estuario y cómo ésta cambia con el tiempo.
- Identificar y corregir fuentes de contaminación.
- Levantar bandera roja en caso que se observe algún contaminante y de esta forma notificar a las agencias correspondientes.
- Generar una base de datos para estudios y publicaciones.
- La educación y adiestramiento a voluntarios en técnicas de monitoreo ambiental.

En cada cuerpo de agua se promedian los datos por parámetro y se comparan con un valor objetivo establecido por el programa de monitoreo. El valor objetivo es un valor de calidad de agua o estándar que nos dice si el cuerpo de agua se encuentra saludable. De esta forma podemos identificar rápidamente los cuerpos de agua deteriorados y a los que hay que darle prioridad a su restauración.

EL ANÁLISIS DE LOS DATOS

Los resultados se presentan en forma de gráfica y en una tabla que contiene el valor mínimo, el valor máximo y el promedio para cada parámetro medido. Las gráficas contienen una línea entrecortada vertical que representa el valor objetivo o estándar. Aquellos cuerpos de agua que contengan una bandera negra al lado del valor promedio en las tablas. De esta forma identificamos aquellos parámetros y cuerpos de agua que no cumplen con los criterios de calidad de agua para tomar las acciones correspondientes.

SINOPSIS DE LOS RESULTADOS

Las observaciones demuestran que de los doce parámetros monitoreados, los aceites y grasas, las bacterias indicadoras de contaminación fecal (coliformes fecales y enterococos), la demanda biológica de oxígeno (BOD) y la concentración del nitrógeno total fueron los parámetros que con más frecuencia incumplieron con el valor objetivo o estándar. Los valores más bajos de oxígeno disuelto se observaron en aquellos cuerpos de agua con poca circulación y en las quebradas del sistema estuarino como son el Caño Martín Peña, Canal Blasina, Quebrada San Antón, el sistema del Río Puerto Nuevo y el Caño La Malaria.

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



Instrumentación utilizada durante los monitoreos de calidad de agua.

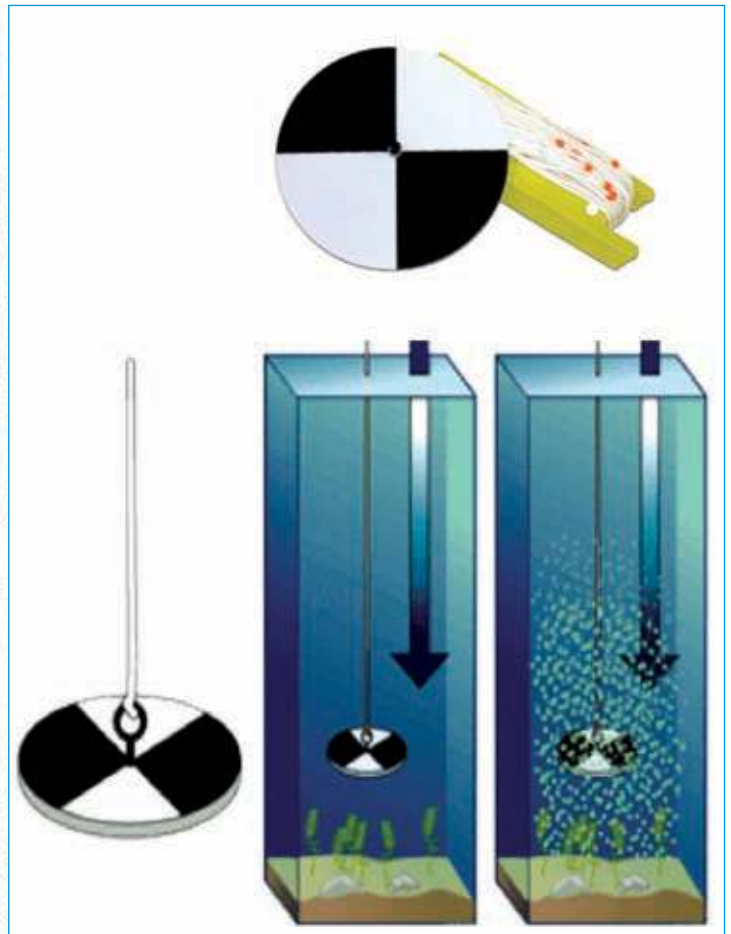


Ilustración 1. Disco Secchi para determinar la transparencia del agua.

OXÍGENO DISUELTO

El oxígeno disuelto es uno de los indicadores de mayor importancia para determinar el estado de salud de un cuerpo de agua. El oxígeno se produce en el agua como resultado de los procesos de fotosíntesis. Dicho proceso es realizado durante el día por microorganismos (fitoplancton), algas y plantas acuáticas que utilizan la luz solar para su crecimiento y producen este vital gas como producto. Por otro lado, el oxígeno se consume durante los procesos de respiración que llevan a cabo todos los organismos vivos, incluyendo las bacterias. De tal forma que tenemos producción de oxígeno por fotosíntesis y consumo por respiración. Durante las horas de luz predomina la producción de oxígeno por fotosíntesis y durante las horas de oscuridad en la noche prevalece el consumo por respiración, por lo que la concentración de oxígeno en un cuerpo de agua cambia naturalmente. Otro proceso que puede aumentar o disminuir la concentración del oxígeno disuelto en el agua es el intercambio de oxígeno que ocurre entre la atmósfera y la superficie de los cuerpos de agua.

La concentración del oxígeno disuelto en el agua disminuye por contaminantes que llegan a través de descargas sanitarias domésticas, descargas industriales y escorrentía pluvial. Cuando desaparece el oxígeno disuelto se dice que el sistema está anóxico. La mortandad de peces y otros organismos acuáticos durante este escenario no solamente depende de las concentraciones bajas de oxígeno sino también del tiempo que se mantienen dichas condiciones en el sistema. Tenemos que tener presente que los organismos que viven en ecosistemas acuáticos tropicales como el EBSJ son más susceptibles a estos cambios pues viven en condiciones cerca de los límites de tolerancia para temperatura y oxígeno disuelto.

Los cuerpos de agua que no cumplieron con el valor objetivo de 0.4 mg/L (Figura 1) fueron el Caño Martín Peña (valor promedio de 2.1 mg/L), Canal Blasina (valor promedio de 1.6 mg/L), Caño La Malaria (valor promedio de 0.84 mg/L), Río Puerto Nuevo (valor promedio de 2.9 mg/L) y la Quebrada San Antón (valor promedio de 3.3 mg/L). De éstos los más críticos fueron el Caño La Malaria y el Caño Martín Peña pues presentaron niveles mínimos de oxígeno de 0.03 mg/L y 0.69 mg/L, respectivamente (Tabla 10).

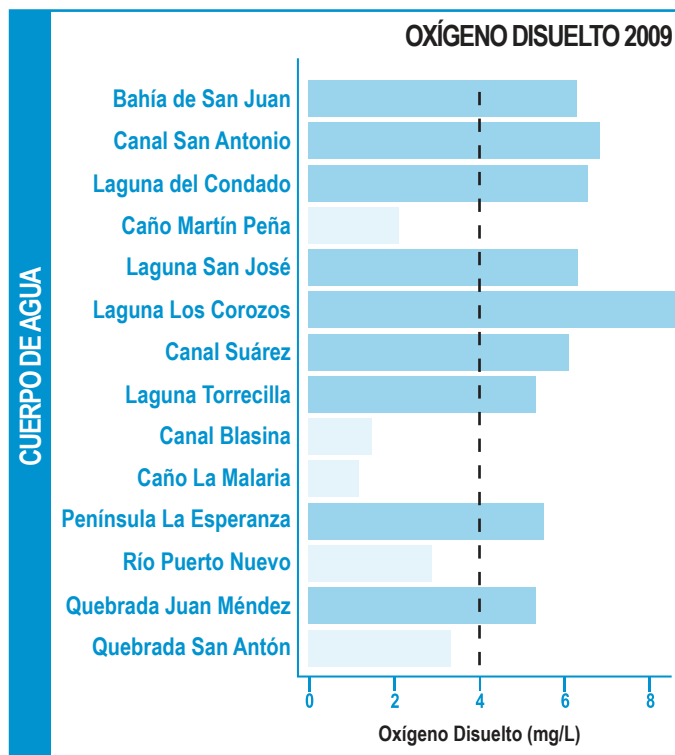


Figura 1. Oxígeno disuelto (mg/L) en los cuerpos de agua del Estuario de la Bahía de San Juan. La línea entrecortada vertical representa el valor objetivo (4 mg/L). Los cuerpos de agua que sobrepasan la línea entrecortada cumplen con el valor objetivo (barras horizontales color azul).

CUERPO DE AGUA	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	PROMEDIO
Bahía de San Juan	4.67	9.05	6.38
Canal San Antonio	6.03	9.10	6.81
Laguna del Condado	5.25	7.89	6.57
Caño Martín Peña	0.69	3.90	2.10
Laguna San José	1.71	11.56	6.31
Laguna Los Corozos	2.22	15.14	8.77
Canal Suárez	2.67	10.70	6.11
Laguna Torrecilla	0.44	6.85	5.34
Canal Blasina	2.29	3.21	1.61
Caño La Malaria	0.03	2.85	0.84
Península La Esperanza	4.40	7.37	5.46
Río Puerto Nuevo	1.48	4.94	2.94
Quebrada Juan Méndez	3.56	7.29	5.27
Quebrada San Antón	1.64	5.33	3.30

Tabla 1. Valor mínimo, valor máximo y el promedio de oxígeno disuelto (mg/L) en los cuerpos de agua del Estuario de la Bahía de San Juan. Los cuerpos de agua con bandera negra al lado del promedio no cumplen con el valor objetivo (4 mg/L).

NUTRIENTES

El nitrógeno y el fósforo son nutrientes utilizados por las plantas acuáticas, las algas y el fitoplancton para su crecimiento. Sin embargo, cuando los encontramos en exceso en los ambientes acuáticos traen como consecuencia un deterioro en la calidad de las aguas. El exceso de éstos fertiliza las aguas estimulando el crecimiento desmesurado de microorganismos, algas y plantas acuáticas. Una vez mueren y se descomponen reducen el oxígeno disuelto disponible para la respiración. Además, aumenta las tasas de sedimentación y liberan compuestos tóxicos. Este proceso se conoce como eutroficación.

Los nutrientes se originan naturalmente por procesos geológicos, descomposición de la materia orgánica por bacterias o deposición atmosférica. No obstante, la preocupación mayor son las fuentes por actividad humana (fuentes antrópicas) como por ejemplo las descargas de aguas sanitarias sin tratar, pozos sépticos no mantenidos, desbordes, fertilizantes, detergentes (fósforo) y las aguas grises producto de la actividad agrícola.

El nitrógeno se encuentra en el agua en varias formas químicas como amonio (NH_4^+), nitrito (NO_2^-) nitrato (NO_3^-) y en su forma orgánica (moléculas más complejas). El nitrógeno total mide el conjunto de todas estas formas químicas en una muestra de agua. El fósforo es un nutriente que se encuentra mayor mente como fosfato (PO_4^-).

La Quebrada Juan Méndez presentó el promedio más alto en nitrógeno total con 7 mg/L y un valor máximo de 9.4 mg/L (Tabla 7). Le siguieron el Caño Martín Peña (valor promedio de 4 mg/L) y el Caño La Malaria (valor promedio de 3.4 mg/L). Un 43 % de los cuerpos de agua estudiados presentaron valores promedios de nitrógeno total sobre el valor objetivo (1 mg/L). Los valores más bajos se observaron en la Bahía de San Juan, el Canal San Antonio y la Laguna del Condado (Figura 2).

Las concentraciones de nitritos y nitratos se presentan en la Figura 8 y Tabla 8. Para los nitratos y nitritos se estableció un valor objetivo de 0.5 mg/L. El Caño Martín Peña resultó el cuerpo de agua con los valores de nitratos y nitritos más altos (hasta 1.87 mg/L), seguido por la Quebrada Juan Méndez (valor máximo de 1.01 mg/L) y la Quebrada San Antón (valor máximo de 0.82 mg/L). Los demás cuerpos de agua del Estuario obtuvieron valores promedios de nitratos y nitritos por debajo del objetivo establecido.

Solamente tres cuerpos de agua estuarinos resultaron con valores sobre el objetivo establecido (0.5 mg/L) para fósforo total. Estos fueron el Caño Martín Peña (promedio de 0.72 mg/L), el Canal Blasina (promedio de 0.54 mg/L) y la Quebrada Juan Méndez (promedio de 0.73 mg/L). Los valores más bajos se observaron en la Bahía de San Juan, el Canal San Antonio y la Laguna del Condado (Figura 4 y Tabla 4).

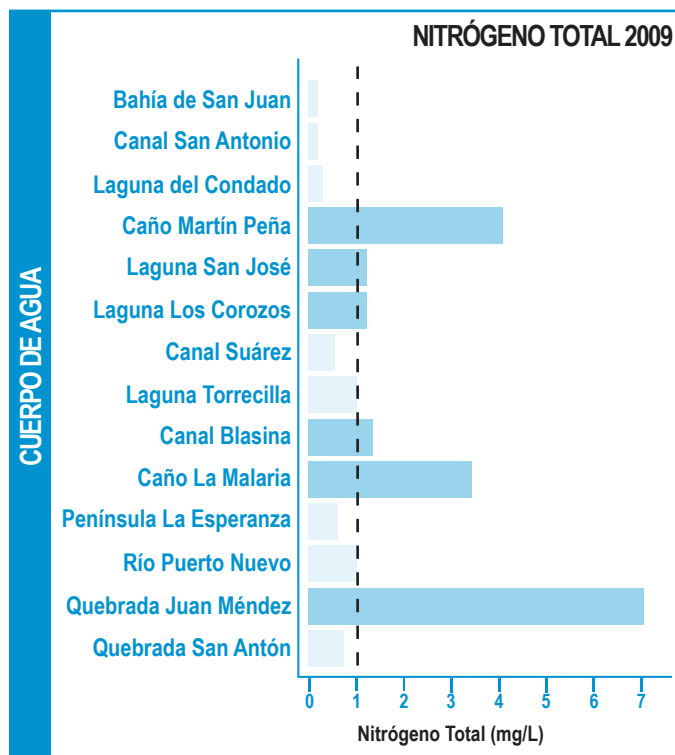


Figura 2. Nitrógeno total (mg/L) en los cuerpos de agua del Estuario de la Bahía de San Juan. La línea entrecortada vertical representa el valor objetivo (1 mg/L). Los cuerpos de agua que sobrepasan la línea entrecortada no cumplen con el valor objetivo (barras horizontales color azul).

CUERPO DE AGUA	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	PROMEDIO
Bahía de San Juan	0.2	0.3	0.2
Canal San Antonio	0.2	0.2	0.2
Laguna del Condado	BLD	0.3	0.3
Caño Martín Peña	2.0	5.2	4.0
Laguna San José	0.6	1.9	1.1
Laguna Los Corozos	0.5	1.8	1.1
Canal Suárez	0.4	0.9	0.6
Laguna Torrecilla	0.3	2.3	1.0
Canal Blasina	1.1	1.4	1.2
Caño La Malaria	3.0	3.9	3.4
Península La Esperanza	0.4	1.0	0.7
Río Puerto Nuevo	0.5	1.3	1.0
Quebrada Juan Méndez	4.6	9.4	7.0
Quebrada San Antón	0.6	0.9	0.7

Tabla 2. Valor mínimo, valor máximo y el promedio en nitrógeno total (mg/L) en los cuerpos de agua del Estuario de la Bahía de San Juan. Los cuerpos de agua con bandera negra al lado del promedio no cumplen con el valor objetivo (1 mg/L). BLD= bajo los límites de detección del método.

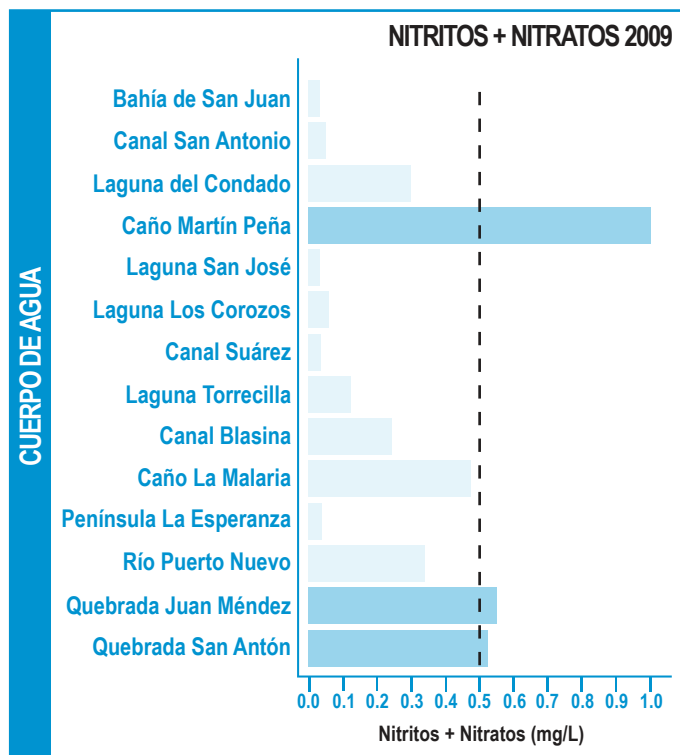


Figura 3. Nitritos más nitratos (mg/L) en los cuerpos de agua del Estuario de la Bahía de San Juan. La línea entrecortada vertical representa el valor objetivo (0.5 mg/L). Los cuerpos de agua que sobrepasan la línea entrecortada no cumplen con el valor objetivo (barras horizontales color azul).

CUERPO DE AGUA	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	PROMEDIO
Bahía de San Juan	0.02	0.03	0.02
Canal San Antonio	BLD	0.03	0.03
Laguna del Condado	0.02	1.80	0.32
Caño Martín Peña	BLD	1.87	0.95
Laguna San José	0.01	0.05	0.02
Laguna Los Corozos	BLD	0.03	0.03
Canal Suárez	0.01	0.28	0.10
Laguna Torrecilla	BLD	0.28	0.10
Canal Blasina	0.10	0.55	0.24
Caño La Malaria	0.40	0.58	0.47
Península La Esperanza	0.02	0.03	0.02
Río Puerto Nuevo	0.07	0.50	0.36
Quebrada Juan Méndez	0.17	1.01	0.54
Quebrada San Antón	0.05	0.82	0.52

Tabla 3. Valor mínimo, valor máximo y el promedio de nitritos más nitratos (mg/L) en los cuerpos de agua del Estuario de la Bahía de San Juan. Los cuerpos de agua con bandera negra al lado del promedio no cumplen con el valor objetivo (0.5 mg/L). BLD= bajo los límites de detección del método.

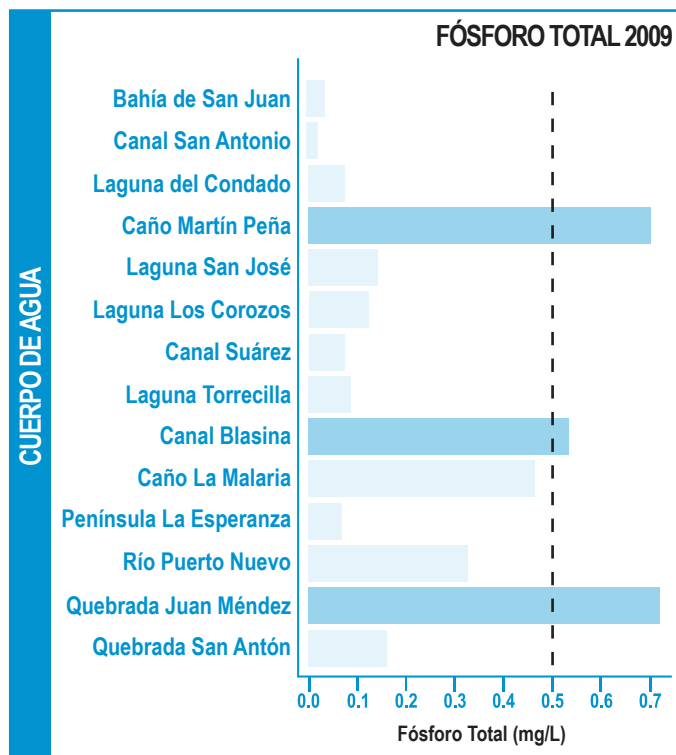


Figura 4. Fósforo total (mg/L) en los cuerpos de agua del Estuario de la Bahía de San Juan. La línea entrecortada vertical representa el valor objetivo (0.5 mg/L). Los cuerpos de agua que sobrepasan la línea entrecortada no cumplen con el valor objetivo (barras horizontales color azul).

CUERPO DE AGUA	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	PROMEDIO
Bahía de San Juan	0.01	0.04	0.02
Canal San Antonio	0.01	0.02	0.01
Laguna del Condado	BLD	0.05	0.03
Caño Martín Peña	0.43	1.01	0.72
Laguna San José	0.06	0.46	0.19
Laguna Los Corozos	0.10	0.21	0.17
Canal Suárez	0.06	0.15	0.10
Laguna Torrecilla	0.02	0.44	0.11
Canal Blasina	0.18	1.48	0.54
Caño La Malaria	0.40	0.58	0.47
Península La Esperanza	0.03	0.15	0.07
Río Puerto Nuevo	0.19	0.57	0.32
Quebrada Juan Méndez	0.44	0.90	0.73
Quebrada San Antón	0.13	0.20	0.16

Tabla 4. Valor mínimo, valor máximo y el promedio de fósforo total (mg/L) en los cuerpos de agua del Estuario de la Bahía de San Juan. Los cuerpos de agua con bandera roja al lado del promedio no cumplen con el valor objetivo (0.5 mg/L). BLD= bajo los límites de detección del método.

COLOROFILA

La clorofila es el pigmento verde que contienen todas las plantas incluyendo el fitoplancton. Grandes cantidades de fitoplancton y clorofila en el agua le imparten un color verde claramente visible.

El fitoplancton está constituido por organismos unicelulares que viven en la superficie de los cuerpos de agua. Estos son muy importantes pues producen oxígeno producto de la fotosíntesis y además son fuente de alimento a otros organismos creando así la cadena alimenticia en los cuerpos de agua. Aunque se puede medir la concentración de fitoplancton, la medida de la clorofila es más directa y conveniente. Simplemente se colecta una muestra de agua a la cual se le extrae la clorofila químicamente y se cuantifica. Este valor nos da un buen estimado de la concentración de fitoplancton presente en el cuerpo de agua.

El fitoplancton necesita de luz y nutrientes para crecer. Es por tal razón que la medida de clorofila es un indicador de los niveles de nutrientes y el grado de eutroficación en un cuerpo de agua. En ocasiones, los niveles de nutrientes son tan altos, que la concentración del fitoplancton llega a ser tan alta que la columna de agua se vuelve turbia.

La concentración máxima de clorofila fue de 103.0 mg/m³ y se observó en la Laguna San José (Tabla 5). Otros cuerpos de agua que excedieron el valor objetivo de 5 mg/m³ fueron Laguna Los Corozos, Canal Suárez, Laguna Torrecilla y la Quebrada San Antón (Figura 5). La Laguna del Condado y Quebrada Juan Méndez presentaron los valores promedios más bajos con 0.9 mg/m³ y 1.1 mg/m³, respectivamente.

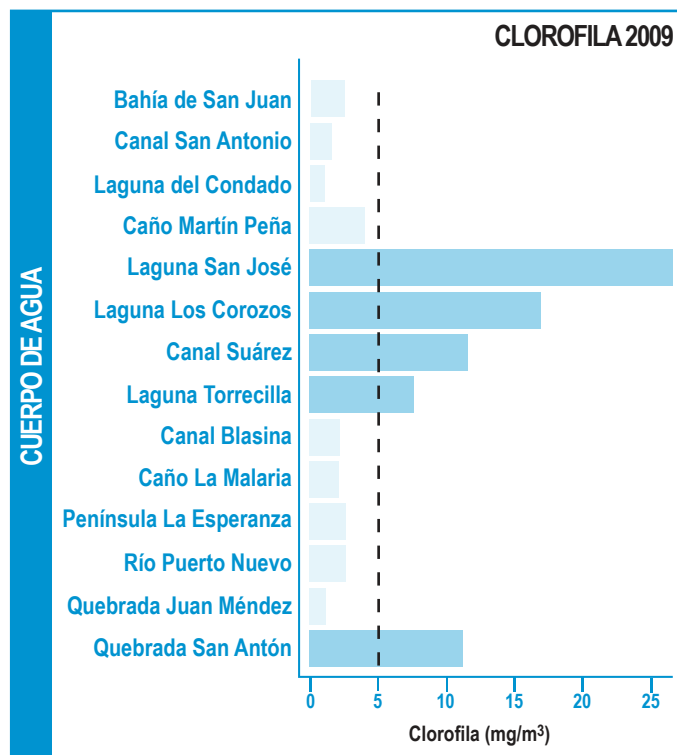


Figura 5. Concentración de clorofila a (mg/m³) en los cuerpos de agua del Estuario de la Bahía de San Juan. La línea entrecortada vertical representa el valor objetivo (5 mg/m³). Los cuerpos de agua que sobrepasan la línea entrecortada no cumplen con el valor objetivo (barras horizontales color azul).

CUERPO DE AGUA	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	PROMEDIO
Bahía de San Juan	1.4	5.7	2.9
Canal San Antonio	0.1	3.4	1.7
Laguna del Condado	0.2	2.0	0.9
Caño Martín Peña	1.1	8.0	4.1
Laguna San José	2.8	103.0	27.4
Laguna Los Corozos	7.6	43.0	17.7
Canal Suárez	4.1	27.8	12.7
Laguna Torrecilla	1.5	27.9	8.3
Canal Blasina	0.6	3.4	2.1
Caño La Malaria	1.0	3.7	2.2
Península La Esperanza	0.8	4.8	2.8
Río Puerto Nuevo	0.2	8.5	2.8
Quebrada Juan Méndez	0.2	1.7	1.1
Quebrada San Antón	0.9	40.8	11.2

Tabla 5. Valor mínimo, valor máximo y el promedio de clorofila a (mg/m³) en los cuerpos de agua del Estuario de la Bahía de San Juan. Los cuerpos de agua con bandera negra al lado del promedio no cumplen con el valor objetivo (5 mg/m³).

DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO

La Demanda Biológica de Oxígeno (BOD por sus sigla en inglés) indica la cantidad de materia orgánica presente en un cuerpo de agua. La materia orgánica en cuerpos de agua es producto de la descomposición de organismos vivos como plantas, peces e invertebrados, entre otros. Por su parte, las descargas de aguas usadas y sanitarias directas y sin tratar contienen y aportan también cantidades considerables de materia orgánica. La presencia de altos niveles de materia orgánica contaminan el agua con los productos de la descomposición y reducen la concentración del oxígeno disuelto.

El BOD se determina incubando una muestra de agua por cinco días donde se mide la concentración de oxígeno al comenzar y finalizar este período. La diferencia refleja la cantidad de oxígeno en miligramos que se consumió para oxidar la materia orgánica presente en la muestra. En otras palabras, entre más altos los resultados, mayor es la presencia de materia orgánica en el cuerpo de agua.

Un 43% de los cuerpos de agua demostraron valores promedios sobre el valor objetivo de 5 mg/L. Los cuerpos de agua que no cumplieron fueron el Caño Martín Peña, Laguna Torrecilla, Canal Blasina, Caño La Malaria, Quebrada Juan Méndez y la Quebrada San Antón (Figura 6). El Caño La Malaria y la Quebrada Juan Méndez presentaron valores mínimos (Tabla 6) por encima del valor objetivo, lo que los convierte en cuerpos de agua severamente impactados en base a este parámetro. Los valores máximos para el parámetro se observaron en Laguna Torrecilla (169 mg/L), Quebrada Juan Méndez (34 mg/L) y Quebrada San Antón (21.0 mg/L). La Laguna Los Corozos (promedio de 0.30 mg/L), la Laguna del Condado (promedio de 1.7 mg/L) y la Bahía de San Juan (promedio de 1.8 mg/L) fueron los cuerpos de agua con los valores promedios más bajos.

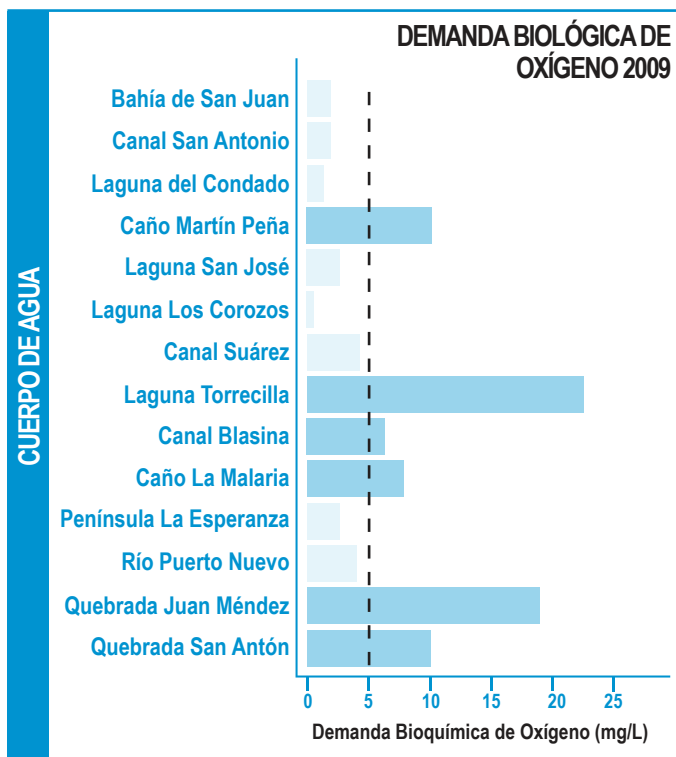


Figura 6. Demanda Biológica del Oxígeno (BOD) determinada en los cuerpos de agua del Estuario de la Bahía de San Juan. La línea entrecortada vertical representa el valor objetivo (5 mg/L). Los cuerpos de agua que sobrepasan la línea entrecortada no cumplen con el valor objetivo (barras horizontales color azul).

CUERPO DE AGUA	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	PROMEDIO
Bahía de San Juan	1.0	3.0	1.8
Canal San Antonio	1.0	2.0	1.8
Laguna del Condado	1.0	3.0	1.7
Caño Martín Peña	5.0	19.0	9.5
Laguna San José	0.20	5.00	3.03
Laguna Los Corozos	0.15	0.57	0.30
Canal Suárez	2.00	7.00	4.13
Laguna Torrecilla	2.00	169.0	20.75
Canal Blasina	3.0	11.0	5.8
Caño La Malaria	7.00	8.00	7.33
Península La Esperanza	1.0	5.0	3.0
Río Puerto Nuevo	2.0	6.00	4.00
Quebrada Juan Méndez	8.00	34.0	19.0
Quebrada San Antón	2.00	21.0	10.0

Tabla 6. Valor mínimo, valor máximo y el promedio en la Demanda Biológica de Oxígeno (mg/L) determinado en los cuerpos de agua del Estuario de la Bahía de San Juan. Los cuerpos de agua con bandera negra al lado del promedio no cumplen con el valor objetivo (5 mg/L). BLD= bajo los límites de detección del método.

TURBIDEZ

Las medidas de turbidez nos dicen qué tan clara o transparente se encuentra la columna de agua. Entre más clara o menos turbia mayor será la penetración de la luz solar beneficiando a las comunidades marinas. La turbidez aumenta en el agua por la presencia de partículas suspendidas como las arcillas, organismos microscópicos como el plancton marino y fragmentos de materia orgánica. La turbidez aumenta particularmente por eutrofización, precipitación (escorrentía) y la re-suspensión de sedimentos ocasionados por tormentas, oleaje y tráfico marítimo. Además puede aumentar durante actividades de dragado y/o rellenos, por descargas domésticas, descargas industriales y deforestación en la cuenca hidrográfica.

La presencia de niveles altos de turbidez no solamente afecta el proceso de fotosíntesis sino que afecta la capacidad de los peces de obtener el oxígeno del agua, pues afecta las agallas que funcionan como pulmones durante el intercambio de gases. Como consecuencia, disminuye la resistencia a enfermedades, reduce la tasa de crecimiento e interviene con el desarrollo de larvas y juveniles. Además, los sedimentos ocasionan daño por abrasión a los tejidos de corales, esponjas marinas y otros organismos que habitan en el fondo marino. Por otro lado, los sólidos suspendidos actúan como acarreadores de compuestos tóxicos como pesticidas y metales pesados. Hasta se puede observar un aumento en la temperatura en cuerpos de agua muy turbios pues los sólidos suspendidos absorben la radiación solar y emiten a su vez calor.

La turbidez está dada en unidades nefrelométricas (NTU) donde una unidad de cero representa agua destilada. Determinamos un valor de 10 NTU como valor objetivo para los cuerpos de agua del Estuario. En otras palabras para que un cuerpo de agua se considere saludable para este parámetro, sus niveles de turbidez no deben exceder este valor.

Los cuerpos que excedieron los 10 NTU (Figura 7) fueron la Laguna Los Corozos (valor promedio de 22.8 NTU), Río Puerto Nuevo (valor promedio 21.4 NTU), el Caño Martín Peña (valor promedio de 16.8 NTU) y el Canal Blasina (valor promedio de 16.0 NTU). El valor máximo observado fue de 79 NTU en la Laguna Los Corozos (Tabla 7).

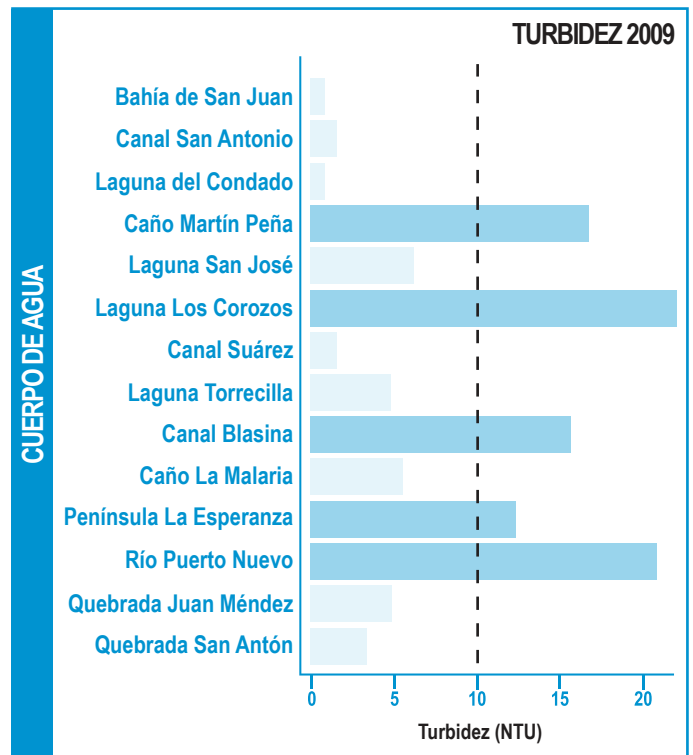


Figura 7. Niveles de turbidez (NTU) en los cuerpos de agua del Estuario de la Bahía de San Juan. La línea entrecortada vertical representa el valor objetivo (10 NTU). Los cuerpos de agua que sobrepasan la línea entrecortada no cumplen con el valor objetivo (barras horizontales color azul).

CUERPO DE AGUA	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	PROMEDIO
Bahía de San Juan	0.0	8.0	1.4
Canal San Antonio	0.1	3.4	1.7
Laguna del Condado	0.2	2.2	1.2
Caño Martín Peña	3.2	30.1	16.8
Laguna San José	0.4	33.2	7.1
Laguna Los Corozos	2.0	79.0	22.8
Canal Suárez	0.0	5.9	1.9
Laguna Torrecilla	0.0	15.0	5.0
Canal Blasina	2.7	32.0	16.0
Caño La Malaria	0.6	10.7	5.5
Península La Esperanza	0.0	42.9	12.6
Río Puerto Nuevo	7.2	64.0	21.4
Quebrada Juan Méndez	0.0	13.8	4.8
Quebrada San Antón	1.6	5.3	3.3

Tabla 7. Valor mínimo, valor máximo y el promedio en los niveles de turbidez (NTU) en los cuerpos de agua del Estuario de la Bahía de San Juan. Los cuerpos de agua con bandera negra al lado del promedio no cumplen con el valor objetivo (10 NTU).

TRANSPARENCIA DEL AGUA

La transparencia de agua nos dice qué tan turbia y clara puede estar la columna de agua. Una manera de estimarla es determinando la profundidad del disco Secchi. El disco Secchi consiste en un disco de unos 20 cm de diámetro con bandas de color negro y blanco amarrado a una cuerda calibrada. El método consiste en bajar el disco Secchi hasta que éste se deje de observar. A esta profundidad se le conoce como la profundidad Secchi. Una de las particularidades de esta técnica es que la lectura integra los niveles de turbidez a través de toda la columna de agua.

Determinamos como valor objetivo para este parámetro una profundidad Secchi de un (1) metro (Figura 8). En otras palabras, aspiramos a que los cuerpos de agua del Estuario presenten profundidades Secchi de más de un metro. Los cuerpos de agua que no cumplieron con este parámetro (Tabla 8) fueron el Caño Martín Peña (valor promedio de 0.7 m), Laguna Los Corozos (valor promedio de 0.8 m), Canal Blasina (valor promedio de 0.8 m), Caño La Malaria (valor promedio de 0.4 m) y el Río Puerto Nuevo (0.6 m). Las aguas más transparentes del Estuario se encuentran en el Canal San Antonio (valor máximo observado de 4.9 m), la Bahía de San Juan (valor máximo observado de 3.8 m), y la Laguna del Condado (valor máximo observado de 2.9 m).

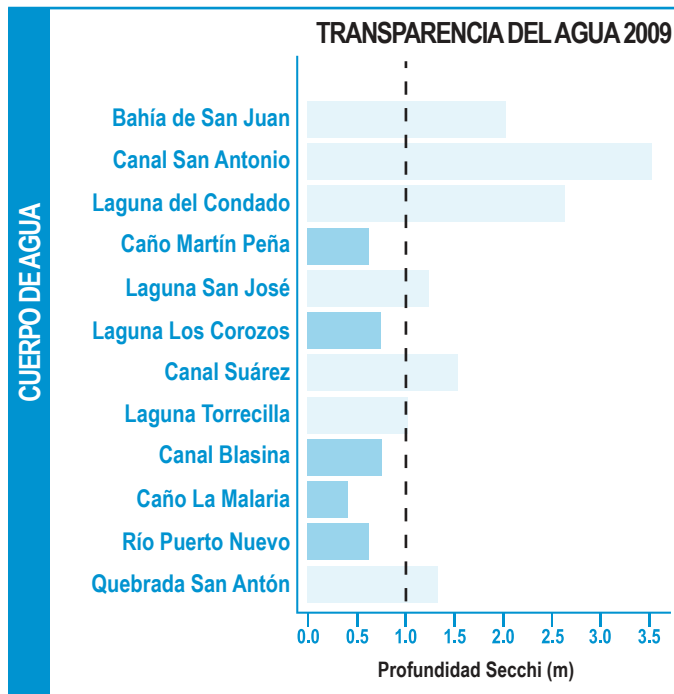


Tabla 8. Valor mínimo, valor máximo y el promedio en la profundidad Secchi (m) en los cuerpos de agua del Estuario de la Bahía de San Juan. Los cuerpos de agua con bandera negra al lado del promedio no cumplen con el valor objetivo (1 m).

CUERPO DE AGUA	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	PROMEDIO
Bahía de San Juan	1.6	3.8	2.1
Canal San Antonio	1.9	4.9	3.6
Laguna del Condado	1.9	2.9	2.5
Caño Martín Peña	0.4	1.0	0.7
Laguna San José	0.7	1.8	1.2
Laguna Los Corozos	0.6	1.0	0.8
Canal Suárez	1.1	1.8	1.5
Laguna Torrecilla	0.3	1.7	1.0
Canal Blasina	0.4	1.0	0.8
Caño La Malaria	0.1	0.6	0.4
Río Puerto Nuevo	0.3	1.0	0.6
Quebrada San Antón	0.7	1.9	1.4

Figura 8. Profundidad Secchi (m) en los cuerpos de agua del Estuario de la Bahía de San Juan. La línea entrecortada vertical representa el valor objetivo (1 m). Los cuerpos de agua que sobrepasa la línea entrecortada cumplen con el valor objetivo (barras horizontales color azul).

COLIFORMES FECALES

Existe un grupo de bacterias conocidas como los coliformes fecales que son parte natural de la flora intestinal en animales de sangre caliente. La presencia de estas bacterias en cuerpos de agua significa a su vez presencia de material fecal y posible riesgo de contraer enfermedades que se transmiten por las heces fecales como la fiebre tifoidea, la cólera, gastroenteritis y hepatitis. Los patógenos que producen estas enfermedades pueden llegar a los cuerpos de agua del Estuario por descargas sanitarias directas sin tratar, pozos sépticos poco mantenidos, sistemas combinados de escorrentía pluvial y sanitaria, actividad ganadera, granjas avícolas y marinas recreativas (donde las embarcaciones descargan directo al mar).

El Caño Martín Peña resultó ser el cuerpo de agua estuarino con mayor concentración de coliformes. Presenta un valor máximo de 2 millones de colonias en 100 mL (ver Tabla 9). A este cuerpo de agua le siguió el Caño la Malaria con conteos de hasta 67,000 colonias en 100 mL. Por otro lado, los cuerpos de agua con menor conteo de coliformes fecales fueron: el Canal San Antonio (valor promedio de 37 colonias/100 mL), la Laguna del Condado (valor promedio de 57 colonias/100 mL) y la Bahía de San Juan (valor promedio de 125 colonias/100 mL) fueron los cuerpos de agua con menor conteo de coliformes fecales. Un 42 por ciento de los cuerpos de agua del Estuario no cumplieron con el objetivo establecido de 2000 colonias/100 mL (Figura 9).

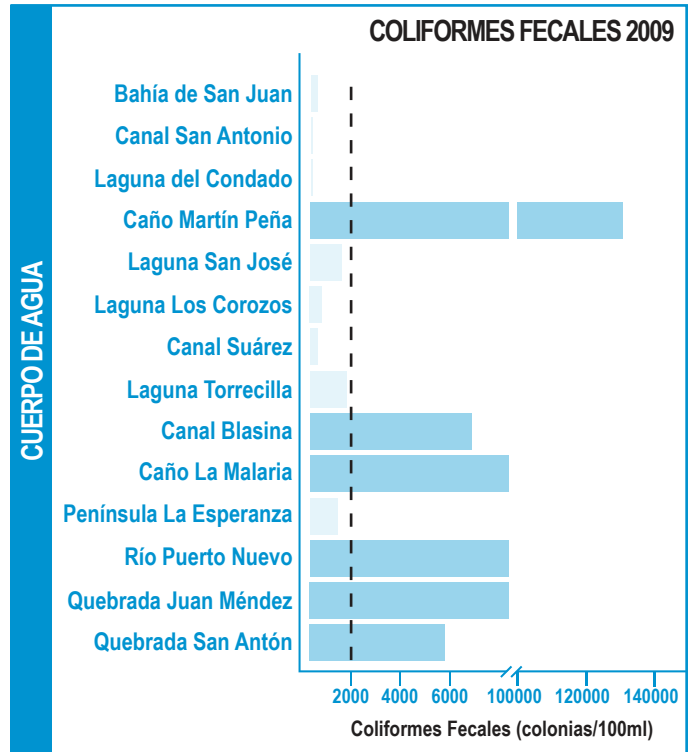


Figura 9. Conteo de coliformes fecales (No. colonias/ 100 mL) en los cuerpos de agua del Estuario de la Bahía de San Juan. La línea entrecortada vertical representa el valor objetivo (2000 colonias/100 mL). Los cuerpos de agua que sobrepasan la línea entrecortada no cumplen con el valor objetivo (barras horizontales color azul).

CUERPO DE AGUA	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	PROMEDIO
Bahía de San Juan	5	570	125
Canal San Antonio	< 2	140	37
Laguna del Condado	< 2	170	57
Caño Martín Peña	53000	200000	130250
Laguna San José	< 2	8500	1703
Laguna Los Corozos	50	590	338
Canal Suárez	5	850	146
Laguna Torrecilla	< 2	17000	1836
Canal Blasina	460	15000	6940
Caño La Malaria	20	67000	29673
Península La Esperanza	< 2	4600	1535
Río Puerto Nuevo	6200	19000	17000
Quebrada Juan Méndez	15000	19000	17000
Quebrada San Antón	900	12000	5925

Tabla 9. Valor mínimo, valor máximo y el promedio en los conteos de coliformes fecales (No. colonias/ 100 mL) en los cuerpos de agua del Estuario de la Bahía de San Juan. Los cuerpos de agua con bandera negra al lado del promedio no cumplen con el valor objetivo (2000 colonias/100 mL).

ENTEROCOCOS

Las bacterias del género enterococos son indicadores más específicos de contaminación en cuerpos de agua por heces fecales humanas. Éstas presentan una correlación más directa entre su presencia en cuerpos de agua y enfermedades gastrointestinales. Por tal razón, se consideran indicadores más precisos de posibles patógenos en el agua.

Un 57 % de los cuerpos de agua del EBSJ no cumplen con el valor objetivo de 100 colonias en 100 mL (Figura 10) por lo que este parámetro es uno de los de mayor preocupación en términos de riesgos a la salud pública. Los conteos más altos (Tabla 6) se observan en el Caño Martín Peña (hasta 1.2 millones de colonia en 100 mL), Quebrada Juan Méndez (hasta 150,000 colonias/100 mL) y el Caño la Malaria (hasta 82,000 colonias/100 mL).

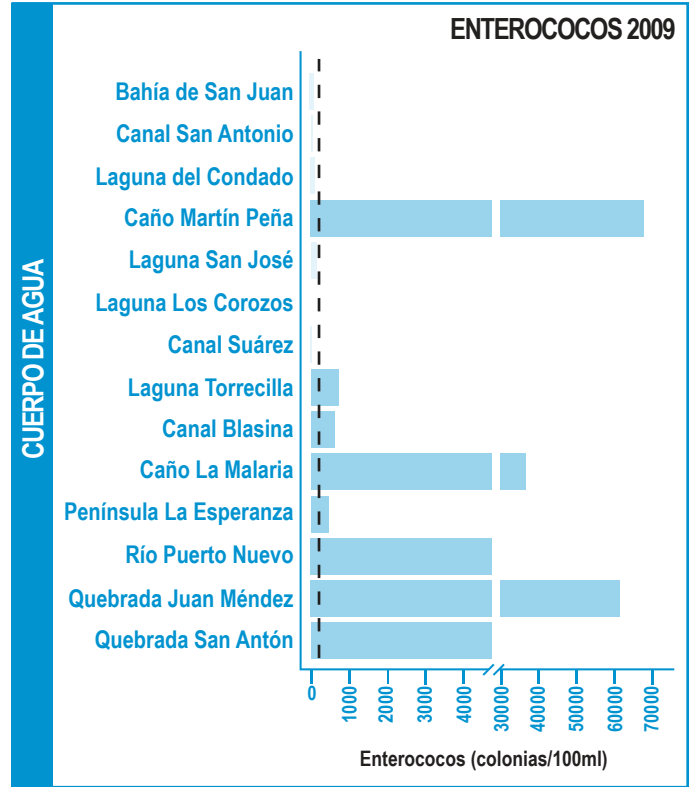


Figura 10. Conteo de enterococos (No. colonias/ 100 mL) en los cuerpos de agua del Estuario de la Bahía de San Juan. La línea entrecortada vertical representa el valor objetivo (100 colonias/100 mL). Los cuerpos de agua que sobrepasan la línea entrecortada no cumplen con el valor objetivo (barras horizontales color azul).

CUERPO DE AGUA	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	PROMEDIO
Bahía de San Juan	< 10	160	33
Canal San Antonio	< 10	36	17
Laguna del Condado	< 10	270	46
Caño Martín Peña	22000	120000	68000
Laguna San José	< 10	400	70
Laguna Los Corozos	< 10	< 10	< 10
Canal Suárez	< 10	120	27
Laguna Torrecilla	< 10	6400	586
Canal Blasina	150	790	520
Caño La Malaria	3000	82000	37333
Península La Esperanza	< 10	760	407
Río Puerto Nuevo	2800	13000	68000
Quebrada Juan Méndez	5900	150000	54300
Quebrada San Antón	230	51000	13575

Tabla 10. Valor mínimo, valor máximo y el promedio en los conteos de coliformes fecales (No. colonias/ 100 mL) en los cuerpos de agua del Estuario de la Bahía de San Juan. Los cuerpos de agua con bandera negra al lado del promedio no cumplen con el valor objetivo (100 colonias/100 mL).

ACEITES Y GRASAS

Los aceites y las grasas son compuestos orgánicos que indican la presencia de combustible fósil, grasa vegetal y animal (utilizada para cocinar y freír), jabones, detergentes, aceite de motor y otros. Estos compuestos llegan a nuestros cuerpos de agua cuando desechamos aceite de cocinar y el aceite usado de los automóviles directamente en las alcantarillas. También llegan por las aguas de escorrentía una vez éstas lavan superficies como estacionamientos, avenidas, aceras, carreteras y otros. Se estima que es mayor la cantidad de aceites que llegan al océano por estas fuentes que las ocasionadas por derrames de petróleo al encallar las embarcaciones donde es transportado. Otra fuente de contaminación por aceites y grasas son los pequeños derrames intencionales o accidentales en marinas, puertos y estaciones de gasolina o talleres de mecánica, al igual que los restaurantes con trampas de grasa defectuosas. Los motores fuera de borda del tipo de dos ciclos constituyen también una fuente de aceites en las lagunas y bahías donde transitan.

Los aceites y las grasas pueden llegar a niveles tóxicos para la flora y fauna acuática, pueden reducir la concentración del oxígeno disuelto en el agua al evitar el intercambio de este importante gas entre la superficie y la atmósfera y reducen el valor estético del cuerpo de agua. En otras palabras, entre más altos los resultados, mayor es la presencia de materia orgánica en el cuerpo de agua y peor se encuentra el cuerpo de agua severamente impactados en base a este parámetro.

Aunque no existe un estándar para la concentración de aceites y grasas, determinamos como objetivo que la concentración promedio en los cuerpos de agua del Estuario no debe exceder un (1) mg/L. Como se observa en la Figura 11 y en la Tabla 11, todos los cuerpos de agua promedian valores sobre el valor objetivo por tanto no cumplieron con el objetivo.

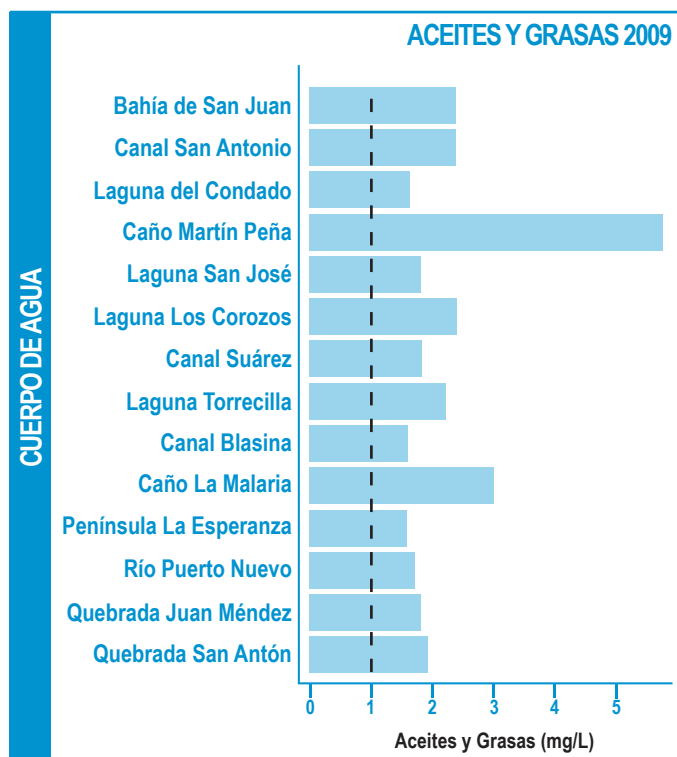


Figura 11. Concentración de aceites y grasas en mg/L en los cuerpos de agua del Estuario de la Bahía de San Juan. La línea entrecortada vertical representa el valor objetivo (1 mg/L). Los cuerpos de agua que sobrepasan la línea entrecortada no cumplen con el valor objetivo (barras horizontales color azul).

CUERPO DE AGUA	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	PROMEDIO
Bahía de San Juan	1.6	2.3	1.5
Canal San Antonio	919	2.3	1.9
Laguna del Condado	1.5	1.9	1.7
Caño Martín Peña	1.5	14.1	5.5
Laguna San José	1.5	2.0	1.8
Laguna Los Corozos	1.4	3.2	1.9
Canal Suárez	1.4	3.0	1.8
Laguna Torrecilla	1.4	5.3	2.2
Canal Blasina	BLD	1.7	1.6
Caño La Malaria	1.6	5.8	3.0
Península La Esperanza	1.4	1.7	1.6
Río Puerto Nuevo	1.4	2.0	1.7
Quebrada Juan Méndez	1.5	2.2	1.8
Quebrada San Antón	1.7	2.2	1.9

Tabla 11. Valor mínimo, valor máximo y el promedio en mg/L de los aceites y grasas medidos en los cuerpos de agua del Estuario de la Bahía de San Juan. Los cuerpos de agua con bandera negra al lado del promedio no cumplen con el valor objetivo (1 mg/L). BLD= bajo los límites de detección del método.

CARBÓN ORGÁNICO TOTAL

El carbón orgánico determina la cantidad de materia orgánica producto de la descomposición de compuestos orgánicos naturales y sintéticos como insecticidas, herbicidas y productos agrícolas. Las altas concentraciones de carbón orgánico se asocian con poco oxígeno disuelto, altas cantidades de microorganismos, descomposición y aguas turbias.

Las fuentes de carbón orgánico total pueden ser por fuentes dispersas como por ejemplo aquellas que provienen de las aguas de escorrentía. Los ríos y quebradas aportan carbón orgánico particularmente durante eventos de precipitación producto del deslave de los terrenos cuenca arriba. Además, las aguas usadas y sanitarias contienen altos niveles de carbón orgánico.

Solamente 3 de los 14 cuerpos de agua monitoreados (Laguna San José, Caño La Malaria y la Quebrada Juan Méndez) sobrepasaron el valor objetivo de 5 mg/L. Las concentraciones más altas se observaron en Quebrada Juan Méndez (18.8 mg/L) y Laguna San José (9.0 mg/L). La Bahía de San Juan, el Canal San Antonio y la Laguna del Condado demostraron niveles bajos en el contenido de carbón orgánico total (Figura 12 y Tabla 12).

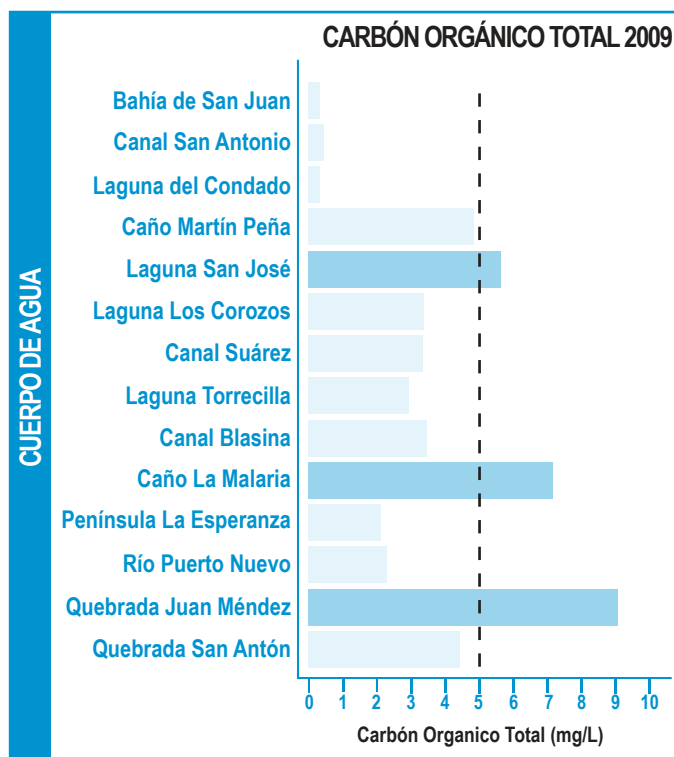


Figura 12. Carbón Orgánico Total (BOD) en los cuerpos de agua del Estuario de la Bahía de San Juan. La línea entrecortada vertical representa el valor objetivo (5 mg/L). Los cuerpos de agua que sobrepasan la línea entrecortada no cumplen con el valor objetivo (barras horizontales color azul).

CUERPO DE AGUA	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	PROMEDIO
Bahía de San Juan	0.10	0.31	0.20
Canal San Antonio	0.11	0.32	0.24
Laguna del Condado	0.14	0.30	0.21
Caño Martín Peña	2.70	6.83	4.86
Laguna San José	3.24	9.00	5.66
Laguna Los Corozos	2.67	5.36	3.73
Canal Suárez	2.63	5.12	3.71
Laguna Torrecilla	0.61	4.52	2.71
Canal Blasina	2.56	4.57	3.77
Caño La Malaria	6.36	8.12	7.25
Península La Esperanza	0.38	4.07	2.18
Río Puerto Nuevo	1.68	2.88	2.22
Quebrada Juan Méndez	3.78	18.8	9.13
Quebrada San Antón	2.30	7.17	4.35

Tabla 12. Valor mínimo, valor máximo y el promedio del Carbón Orgánico Total (mg/L) en los cuerpos de agua del Estuario de la Bahía de San Juan. Los cuerpos de agua con bandera negra al lado del promedio no cumplen con el valor objetivo (5 mg/L).

CAPÍTULO II

ÍNDICES DE CALIDAD DE AGUA Y CALIFICACIONES

En la sección anterior presentamos los resultados por parámetro para discernir aquellos que no cumplen con nuestros objetivos. En esta sección, integramos todos los parámetros en un modelo matemático de calidad de agua para calcular un índice o calificación y ver cómo se encuentra la salud de cada uno de los cuerpos de agua.

Los índices de calidad de agua son valores numéricos que nos dicen cómo se encuentra la calidad de las aguas y la condición de salud del cuerpo de agua. Es una manera sencilla de traducir las observaciones de campo en un valor numérico y en una calificación fácil de comprender. Este método matemático integra el resultado de todos los parámetros (12) de calidad de agua medidos como parte del programa de monitoreo.

Para obtener los índices de calidad de agua se calculó mediante un modelo matemático el por ciento de datos que no cumplieron con el valor objetivo (Tabla 1), la frecuencia con la que los datos no cumplieron con el objetivo y la amplitud o la diferencia entre este valor y el objetivo.

El índice de calidad de agua va desde 0 hasta 100; entre más alta la calificación mejor la calidad del agua en ese cuerpo de agua (Tabla 2). El índice de calidad de agua se convierte a un valor igual a las calificaciones escolares donde una F representa una calidad de agua muy pobre y una A una excelente (ver Tabla 3 y Figura 1).

PARÁMETRO DE CALIDAD DE AGUA	OBJETIVO
Oxígeno Disuelto	4 mg/L
Turbidez	10 NTU
Transparencia del Agua (Profundidad Secchi)	1 metro
Aceites y Grasas	1 mg/L
Nitrógeno Total	1 mg/L
Nitratos + Nitritos	0.5 mg/L
Fósforo Total	0.5 mg/L
Carbón Orgánico Total	5 mg/L
Clorofila	5 mg/L
Demanda Biológica de Oxígeno	5 mg/L
Coliformes Fecales	2000 colonias
Enterococos	100 colonias

Tabla 1. Valores objetivos o estándares 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.

Los cuerpos de agua con mejor calificación (Tabla 3 y Figura 1) fueron Laguna del Condado (94), Canal San Antonio (93) y la Bahía de San Juan (89). Por el contrario, el cuerpo de agua más impactado según reflejado en el índice (15) lo es el Caño Martín Peña (Tabla 3).

ÍNDICES DE CALIDAD DE AGUA	DESCRIPCIÓN	CALIFICACIÓN
95 - 100	Excelente: La calidad de las aguas se encuentra protegida. La condición del cuerpo de agua cerca a condiciones prístinas y naturales.	A
80 - 94	Buena: La calidad de las aguas protegida; el cuerpo de agua exhibe un grado de contaminación menor y con poca frecuencia.	B
65 - 79	Aceptables: La calidad del agua usualmente protegida; el cuerpo de agua exhibe ocasionalmente niveles de contaminación.	C
45 - 64	Pobre: La calidad del agua poco protegida; el cuerpo de agua se encuentra frecuentemente amenazado y contaminado.	D
0 - 44	Muy Pobre: La calidad del agua no protegida; el cuerpo de agua se encuentra siempre amenazado y contaminado.	F

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

CUERPO DE AGUA	PUNTUACIÓN ÍNDICES DE CALIDAD DE AGUA	CALIFICACIÓN
Bahía de San Juan	89	B
Canal San Antonio	93	B
Laguna del Condado	94	B
Caño Martín Peña	15	F
Laguna San José	62	D
Laguna Los Corozos	59	D
Canal Suárez	75	C
Laguna Torrecilla	59	D
Canal Blasina	47	D
Caño La Malaria	22	F
Península La Esperanza	73	C
Río Puerto Nuevo	36	F
Quebrada Juan Méndez	86	B
Quebrada San Antón	38	F

Tabla 3. Resultados de los índices de calidad de agua y las calificaciones correspondientes calculados para los cuerpos de agua del Estuario de la Bahía de San Juan.

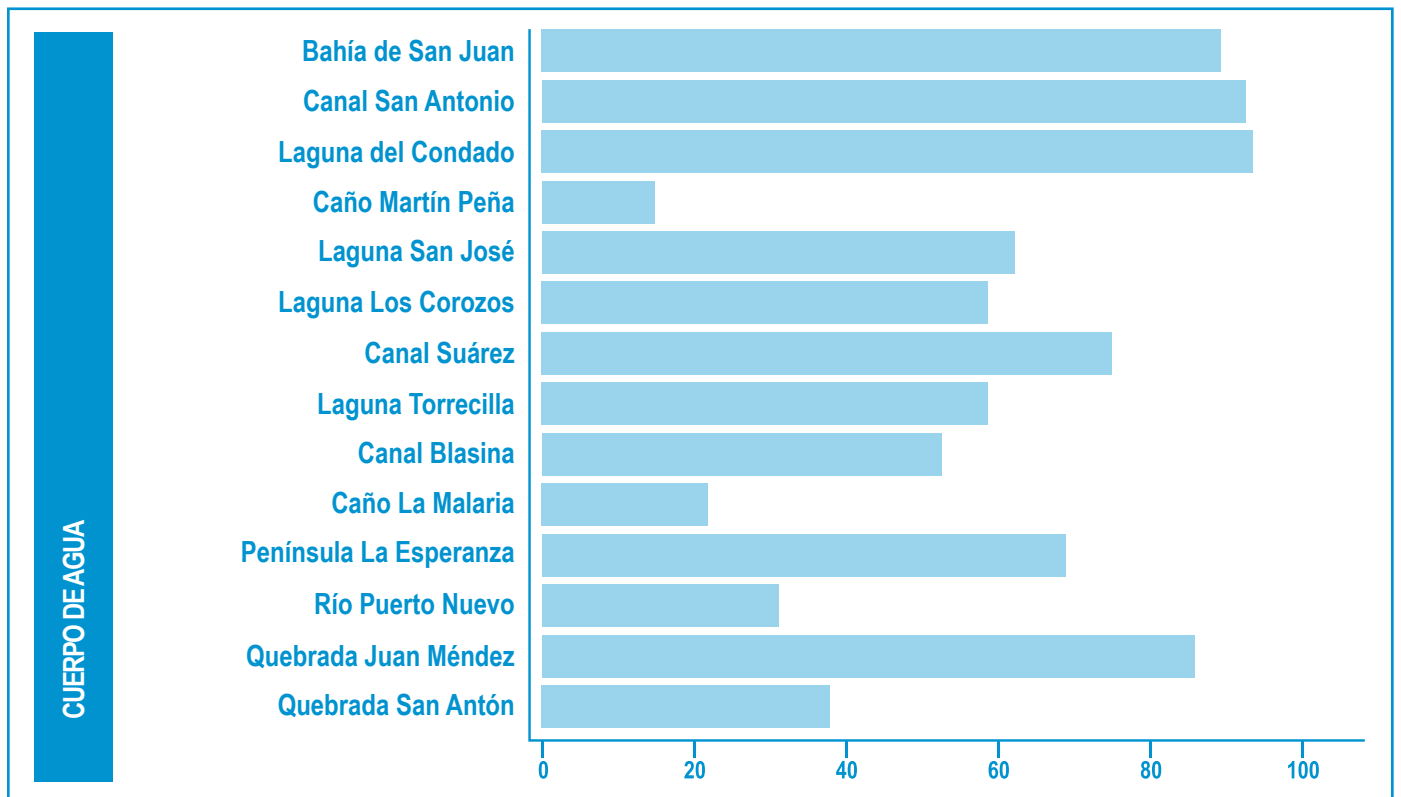


Figura 1. Comparación entre los índices de calidad de agua para los cuerpos de agua del Estuario de la Bahía de San Juan. Entre más alto el índice (se acerca a 100) mejor es la calidad del agua.

CAPÍTULO III

COMPARACIÓN CON MUESTREOS PASADOS DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL ESTUARIO DE LA BAHÍA DE SAN JUAN

Desde hace varias décadas los cuerpos de agua del Estuario de la Bahía de San Juan cuentan con diferentes campañas y esfuerzos de monitoreo de calidad de agua. No obstante, sólo dos cumplen con los propósitos y la misión del Programa del Estuario de la Bahía de San Juan: la implementada por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS por sus siglas en inglés) entre el 1994 y el 1995 (Web y Gómez, 1998) y la coordinada por esta misma agencia federal en coordinación con la Junta de Calidad Ambiental entre el 2002 y el 2005. La primera evaluó sinópticamente la calidad del agua y los sedimentos del Estuario de la Bahía de San Juan y la segunda realizó un monitoreo secuencial de la calidad del agua, por lo que se pueden observar los cambios a través del tiempo.

Debido a la falta de continuidad de los programas de monitoreo de calidad de agua en la zona estuarina, en el año 2007-2008 el Programa del Estuario de la Bahía de San Juan decidió asumir la iniciativa de monitorear los cuerpos de agua relacionados al ecosistema. El proyecto comenzó oficialmente en el 2008, se conoce como el Programa de Monitoreo de Calidad de Agua del Estuario y cuenta con un Quality Assurance Project Plan (QAPP) aprobado por la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés). La muestras se analizan en el único laboratorio privado con las credenciales y certificaciones que cumplen con los parámetros de calidad esperados del proyecto.

En esta sección comparamos los resultados de las dos campañas de monitoreo con los resultados obtenidos por el Programa de Monitoreo de Calidad de Agua del Estuario 2008-2009. Seleccionamos tres parámetros fundamentales de calidad de agua: el oxígeno disuelto, los niveles de turbidez y los conteos de colonias de coliformes fecales. Comparamos los valores promedio calculados para cada una de las campañas identificadas como 1994-1995; 2002-2005 y 2008-2009. El objetivo es examinar cómo han cambiado los parámetros con el tiempo y si se observa una mejoría en la calidad de las aguas del estuario.

OXÍGENO DISUELTO

El oxígeno disuelto demuestra una notable mejoría en todos los cuerpos de agua pues observamos las concentraciones más altas en el monitoreo del 2008-2009 en comparación con las campañas de monitoreo anteriores. Es interesante notar la mejoría progresiva en los niveles de oxígeno en la Bahía de San Juan, Caño Martín Peña y la Laguna Torrecilla (Figura 1).

la Laguna Torrecilla (Figura 1).

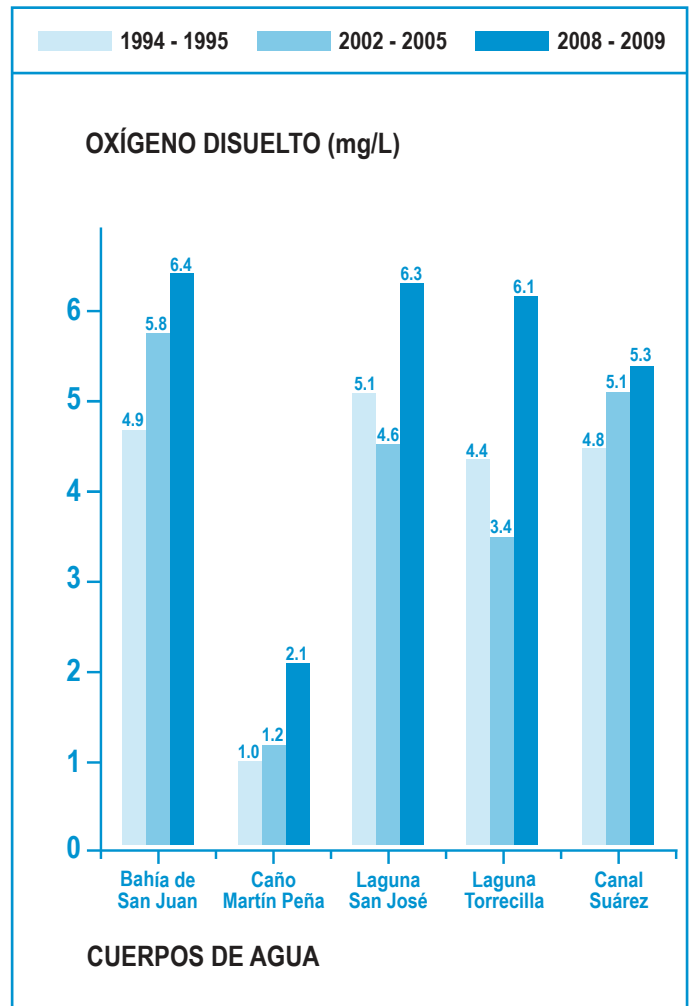


Figura 1

NIVELES DE TURBIDEZ

En términos de niveles de turbidez (Figura 2), observamos un deterioro progresivo en Laguna San José pues este parámetro ha aumentado con el tiempo. No obstante, observamos una mejoría en la Bahía de San Juan, Canal Suárez y Laguna Torrecilla, al ser los niveles de turbidez en el 2008-2009 los más bajos de la serie. El Caño Martín Peña presenta los niveles de turbidez más altos durante la campaña del 2002-2005.

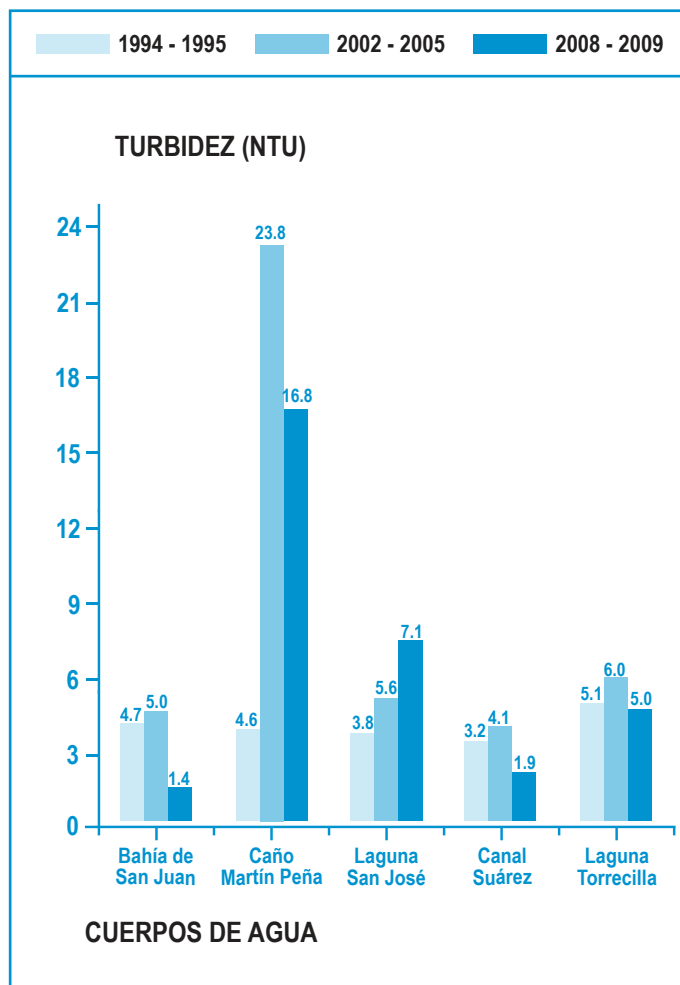


Figura 2

COLIFORMES FECALES

La Figura 3 presenta los resultados para los conteos de coliformes fecales entre las tres campañas. Donde único observamos una mejoría a través del tiempo es en el Caño Martín Peña y el Canal Suárez, aunque es importante enfatizar que los conteos en el Caño Martín Peña han sido consistentemente altos a través del tiempo. Los conteos más bajos los presenta la Bahía de San Juan.

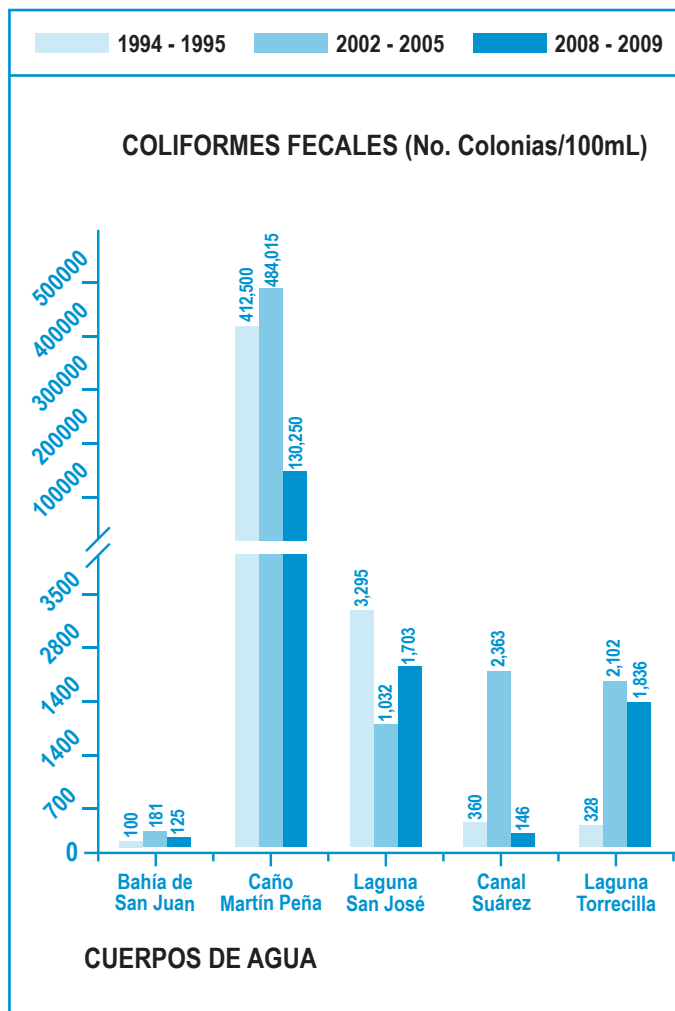


Figura 3

Bibliografía:

Webb, R. M. T. and Fernando Gómez-Gómez, 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, 70 pp.

CAPÍTULO IV

ESTACIONES DE MONITOREO A TIEMPO REAL

Del 2008 al 2009, el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés) operó dos estaciones autónomas de monitoreo de calidad de agua bajo un contrato con el Programa del Estuario de la Bahía de San Juan. Dichas estaciones contienen sensores (YSI 650 MDS) que miden parámetros de calidad de agua en tiempo real colectando datos cada 15 minutos. Al cabo de una hora envía los resultados vía satélite a la estación de campo "Local Readout Ground Station". Los datos pueden ser accesados en la página en la Internet del Centro de Ciencias del Agua en el Caribe del USGS www.pr.water.usgs.gov. Las estaciones permiten monitorear los cuerpos de agua de forma continua sin tener que estar presentes en el área de estudio. Sobre todo, permiten a cualquier persona interesada, observar los cambios a tiempo real desde la comodidad de su hogar y oficina.

Una de las estaciones se ubicó en la Laguna San José y la otra en la Puntilla en la Bahía de San Juan. Los parámetros medidos (ver Figura 1) por las estaciones fueron los siguientes:

- Nivel del agua
- Temperatura
- Oxígeno disuelto y niveles de saturación
- Conductancia y salinidad
- Precipitación

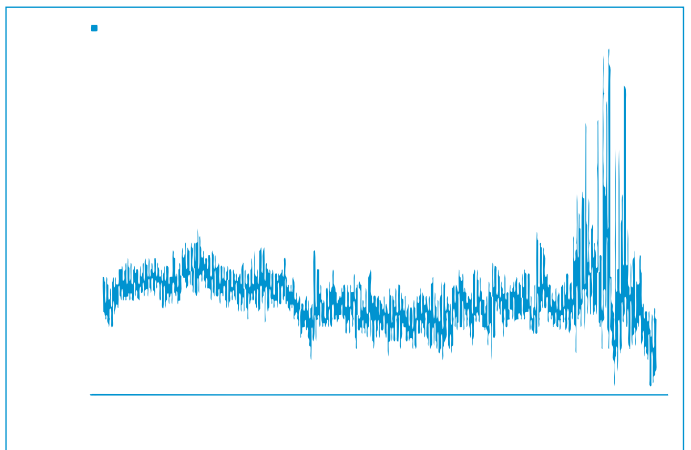
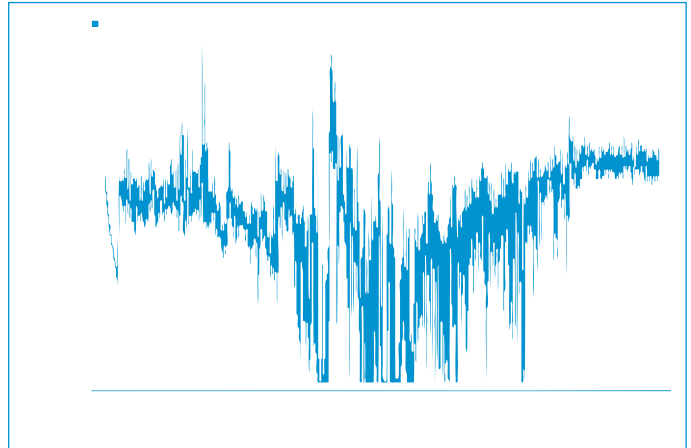


Figura 1. Cambios en la concentración del oxígeno disuelto medidos en la estación de La Puntilla en la Bahía de San Juan.

SEDIMENTOS Y COMUNIDADES BÉNTICAS



SECCIÓN

CAPÍTULO V

ESTUDIO DE METALES TRAZOS EN LA LAGUNA LA TORRECILLA

Por: Michael Martínez-Colón¹ y Pamela Hallock

Colegio de Ciencias Marinas de la Universidad de South Florida, St. Petersburg, FL 33701

¹E-mail: foram3438@yahoo.com

INTRODUCCIÓN

La contaminación por metales se considera como uno de los tipos de contaminación más serios en ambientes acuáticos. Éstos pueden llegar a los cuerpos de agua por fuentes naturales como es la erosión del suelo y rocas, y las erupciones volcánicas. No obstante, las fuentes de preocupación son aquellas que tienen su origen como resultado de la actividad del hombre. Actividades como la manufactura, la producción de pesticidas, de pinturas, solventes y otros productos industriales generalmente son la fuente principal de metales. Algunos de estos metales como el mercurio (Hg), el cadmio (Cd) y el plomo (Pb) son muy tóxicos y dañinos incluso en concentraciones bajas.

La mayor parte de los metales son insolubles en agua de tal forma que una vez llegan a un cuerpo de agua éstos son absorbidos por los sedimentos, partículas en el agua o asimilados por organismos acuáticos como peces. Por lo tanto terminan acumulándose en los sedimentos, entendiéndose el fondo del cuerpo de agua. Una vez en el fondo, los organismos benthicos, como la cocolía, son los que primero se ven afectados al ser los que más cerca se encuentran de estos sedimentos. La situación se agudiza si estos fondos se encuentran cerca de descargas de aguas usadas sanitarias y/o industriales.

Se ha observado que la concentración de metales en los organismos es mayor que la concentración en el medio acuoso donde se encuentran. Este fenómeno se conoce como biomagnificación que es igual a la acumulación progresiva de metales y otros contaminantes en los organismos a través de la cadena alimenticia. Aquellos que se encuentran en los niveles superiores de la cadena alimenticia contendrán más cantidad del metal que los que se encuentran más abajo, es por tal razón que las concentraciones del mercurio es mucho mayor en peces carnívoros.

Actualmente se está llevando a cabo un estudio sistemático para identificar y cuantificar los tipos de metales pesados en los sedimentos estuarinos en Laguna Torrecilla (Figura 1) y a su vez se está implementado el uso de foraminíferos bentónicos como bioindicadores de contaminación. Los foraminíferos bentónicos son organismos microscópicos que producen un caparazón de carbonato de calcio (Placa 1) y se encuentran en los fondos. La presencia de algunas especies de foraminíferos se ha utilizado como herramienta para monitorear el estado de salud de un cuerpo de agua, pues sus

características inigualables como diversidad taxonómica, distribución, abundancia, tamaño, ciclo reproductivo corto, y gran potencial de preservación (Yanko y otros, 1998) hacen que este grupo de microorganismos sea de gran utilidad en estudios ambientales. También, poblaciones de foraminíferos actúan rápidamente ante cambios ambientales, ya sean naturales o antropogénicos, debido a que pertenecen a ciertos nichos ecológicos.

Durante este estudio se colectaron muestras de los sedimentos de la Laguna Torrecilla en 16 puntos (estaciones) y fueron analizadas para determinar el contenido de metales trazos. De los metales analizados, se detectó arsénico (As), litio (Li), cobalto (Co), mercurio (Hg), níquel (Ni), plomo (Pb), cobre (Cu), cromo (Cr), y zinc (Zn) (Tabla 1). Estos metales son considerados potencialmente tóxicos. Los mapas de distribución muestran (ver Figura 2) que la mayoría de los metales exhiben concentraciones altas en las cercanías de Punta Mosquitos y la desembocadura de Quebrada Blasina. Estas áreas han sido identificadas como anóxicas (poco o ningún oxígeno) como consecuencia de actividades de dragado y pobre circulación.

Hasta el momento los resultados muestran que la densidad poblacional de foraminíferos en la Laguna disminuye hacia zonas con mayor contaminación. Dicha observación demuestra el potencial de utilizar estos microorganismos como indicadores ambientales en estudios de monitoreo. Se recomienda tener presente estas áreas en la implementación de actividades de dragado pues son propensas a liberar metales pesados y otros contaminantes al medio una vez son removidos y expuestos al aire.

Placa 1.

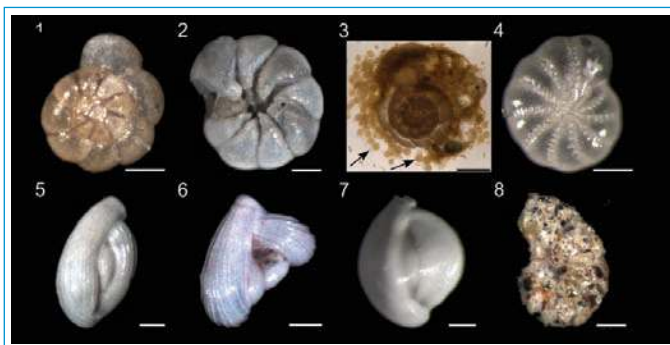


Figura 1.

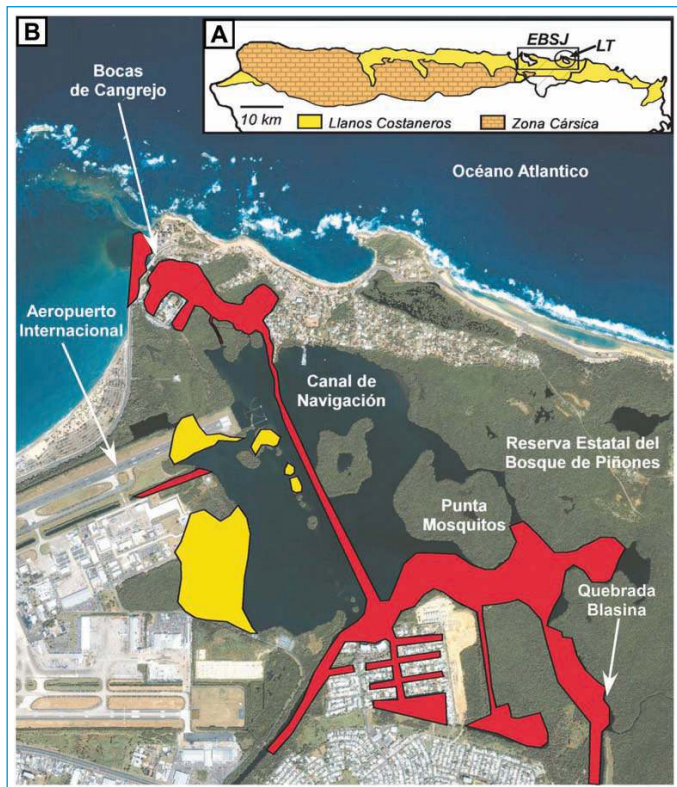


Figura 2.



LEYENDA DE LAS TABLAS

Tabla 1. Metales encontrados en los sedimentos de Laguna Torrecilla. Las concentraciones están representadas en microgramo/gramo ($\mu\text{g/g}$).

NOMBRE	SÍMBOLO	CONCENTRACIÓN (ppm)
Arsénico	As	13.3
Mercurio	Hg	0.11
Cobalto	Co	8.56
Plomo	Pb	10.0
Zinc	Zn	66.3
Litio	Li	22.1
Níquel	Ni	18.7
Cobre	Cu	40.2
Cromo	Cr	29.8

LEYENDA DE LAS FIGURAS

FIGURA 1. A. Localización de la laguna Torrecilla en la costa Norte de Puerto Rico (Modificado y compilado de: Renklen y otros, 2002; y Warne y otros, 2005). EBSJ: Estuario de la Bahía de San Juan; LT: Laguna Torrecilla; Líneas Anguladas: Cuenca de EBSJ. B. Rojo (dragado) y Amarillo (áreas de relleno entre 1950 y 1971) (Tomado de Ellis, 1976).

FIGURA 2. Mapas de distribución de metales pesados. Unidades de la escala es en partes por millón (ppm). Flecha negra: Dirección en la disminución de la densidad poblacional de foraminíferos.

PLACA 1. Foraminíferos de la laguna Torrecilla: 1-3 *Ammonia* spp.: 1. lado espiral; 2. lado umbilical; 3. juveniles (flechas) producidos asexualmente; 4. *Elphidium* sp.; 5-6 *Quinqueloculina cf rhodiensis*: 5. morfología normal; 6. deformado; 7. *Triloculina* trigonula; 8. *Ammobaculites* sp. Escala: 250 micrómetros.

RECUADROS

EL MERCURIO

Es un metal líquido a temperatura ambiente que se encuentra naturalmente en las rocas particularmente en zonas de alta actividad volcánica. Tradicionalmente fue utilizado en la producción de baterías, como un aditivo en pinturas, aparatos eléctricos y fabricación de pesticidas. Aunque ya no se utiliza en muchas de las aplicaciones antes mencionadas, todavía se utiliza en la manufactura de instrumentos de medición como lo termómetros y en la preparación de amalgamas dentales. Uno de los orígenes de este metal en los cuerpos de agua se encuentra en los efluentes de aguas usadas domésticas e industriales. Otra de las

fuentes ocurre por la deposición atmosférica del mercurio volatilizado producto de la combustión de combustible fósil, entre otros.

El mercurio es uno de los metales que se bioacumula en la cadena alimenticia y afecta el sistema nervioso central, provoca alteraciones y parálisis muscular, problemas de visión y hasta daño cerebral. Los daños por ingerir este metal líquido fueron descubiertos en la década del cincuenta en la Bahía de Minamata en Japón. Sucede que los residentes en la Bahía de Minamata comenzaron a presentar daños neurológicos, problemas al hablar y delirio. Incluso mucho antes ya se habían observado a los gatos del lugar agresivos como locos hasta que eventualmente morían. Se descubrió que la enfermedad fue a consecuencia del consumo de pescado con altos niveles de mercurio, pues se bioacumulaba en la cadena alimenticia. Éste llegaba a la Bahía a través de los efluentes descargados por la Corporación Chisso, la cual utilizaba mercurio en sus procesos en la manufactura de derivados del petróleo y plásticos. Es por tal razón que a la enfermedad producto de la ingestión del mercurio se le conoce como la enfermedad de Minamata.

EL PLOMO

Empleado como aditivo en la gasolina en el pasado. Se utiliza en la fabricación de baterías, pintura y pesticidas. Provoca en el ser humano la enfermedad conocida como Saturnismo que se caracteriza por la acumulación en los huesos y sistema nervioso, causando anemia, parálisis y alteraciones enzimáticas. En el medio acuoso causa plomismo en las aves acuáticas al éstas ingerir residuos de plomo en los sedimentos.

BIBLIOGRAFÍA

- Delgado-Morales, D., Rodríguez, C. J., y Jiménez, B. D., 1999. Heavy metal evaluation in aquatic organisms from the San José lagoon. Center for Environmental and Toxicological Research- School of Medicine, University of Puerto Rico. Progress Report submitted to Puerto Rico Sea Grant PRU-T-99(3), 30p.
- Ellis, S.R., 1976. History of dredging and filling of lagoons in the San Juan area, Puerto Rico. U.S.G.S. Water-Resources Investigations Report 38-76, 25pp.
- Ellis, S.R., y Gómez-Gómez, F., 1976. Hydrologic characteristics of lagoons at San Juan, Puerto Rico, during a January 1974 tidal cycle. U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations #38-75, 52p.
- Gómez-Gómez, F., Quiñonez, F., y Ellis, S. R., 1983. Hydrologic characteristics of lagoons at San Juan, Puerto Rico, during an October 1974 tidal cycle. U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Open-File Report #82-349, 41p.
- Hallock, P., Lidz, B. H., Cockey-Burkhard, E. M., y Donnelly, K. B., 2003. Foraminifera as bioindicators in coral reef assessment and monitoring: the FORAM Index: Environmental Monitoring and Assessment, v. 81, p. 221–238.
- Long, E. R., MacDonald, D. D., Smith, S. L., y Calder, F. D., 1995. Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments: Environmental Management, v. 19, p. 81–97.
- MacDonald, D. D., Carr, R. S., Calder, F. D., Long, E. R., y Ingersoll, C. G., 1996. Development and evaluation of sediment quality guidelines for Florida coastal waters. *Ecotoxicology* 5:253-278.
- Martinez-Colon, M., y Hallock, P. Preliminary survey on foraminiferal responses to pollutants in Torrecilla Lagoon-Puerto Rico. Accepted: Caribbean Journal of Science)
- Martinez-Colon, M., Hallock, P., y Green-Ruiz, C. Potentially toxic elements and strategies for use of shallow-water benthic foraminifera as bio-indicators: a review. (Accepted: Journal of Foraminiferal Research)
- Renken, R. A., Ward, W. C., Gill, I. P., Gómez-Gómez, F., y Rodríguez-Martínez, J., 2002. Geology and hydrogeology of the Caribbean islands aquifer system of the Commonwealth of Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands. U.S. Geological Survey Professional Paper # 1419. United States Department of the Interior- Library of Congress.
- Rodríguez-Martínez, J., Gómez-Gómez, F., Santiago-Rivera, L., y Oliveras-Feliciano, M. L., 2002. Surface-water, water-quality, and ground-water assessment of the Municipio of Carolina, Puerto Rico, 1997-1999. U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 01-4267, 53p.
- San Juan Bay Estuary, 2000. Comprehensive Conservation and Management Plan for the San Juan Bay Estuary-Volume #1, p. 103-113.
- Seguinot-Barbosa, J., 1983. Coastal modifications and land transformation in the San Juan Bay area: Puerto Rico. Unpublished PhD Dissertation Louisiana State University, Baton Rouge Louisiana, 302p.
- Southeast Regional Climate Center, 2009. (http://www.sercc.com/climateinfo/historical/historical_pr.html)
- Ward, J. N., Pond, D. W., y Murray, J. W., 2003. Feeding of benthic foraminifera on diatoms and sewage-derived organic matter: an experimental application of lipid biomarker techniques: *Marine Environmental Research*, v. 56, p. 515–530.
- Warne, A. G., Webb, R. M. T., y Larsen, M. C., 2005. Water, sediment, and nutrient discharge characteristics of rivers in Puerto Rico, and their potential influence on coral reefs. U. S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2005-5206. United States Department of the Interior- Library of Congress.
- Webb, R.M.T., y F. Gómez-Gómez. 1998. Synoptic survey of water quality and bottom sediments, San Juan Bay Estuary System, Puerto Rico, December 1994-July 1995. U.S.G.S. Water Resources Investigations Report 97-4144. 69pp.
- Wilson, H. M., 1899. Water Resources of Puerto Rico. U.S. Geological Survey Water Supply and Irrigation Papers #32, 63p.
- Yanko, V., Ahmad, M., y Kaminski, M., 1998. Morphological deformities of benthic foraminiferal tests in response to pollution by heavy metals: implications for pollution monitoring: *Journal of Foraminiferal Research*, v. 28, p. 177–200.

CAPÍTULO VI

ÍNDICE BÉNTICO PARA EL ESTUARIO DE LA BAHÍA DE SAN JUAN*

Los fondos de los cuerpos de agua asociados al Estuario de la Bahía de San Juan tienden predominantemente a estar compuestos de lodo. En éstos viven diferentes tipos de organismos conocidos como la infauna o meifauna. Estos se definen como aquellos que viven dentro de los sedimentos sumergidos y por lo general son invertebrados muy pequeños. Además, son muy importantes en estudios ecológicos pues actúan como indicadores de las condiciones y estado de salud del Estuario.

El estudio de la distribución y composición de la infauna permite determinar la salud del ecosistema pues actúan como indicadores biológicos por diferentes razones. Primero, al ser sedentarios no pueden migrar o huir del área local a consecuencia de disturbios en el fondo marino o presencia de un contaminante. Por otro lado, son muy sensitivos fisiológicamente a diferentes tipos de disturbios. Muestran cambios dramáticos en su composición y abundancia como respuesta a perturbaciones ambientales. En áreas perturbadas y contaminadas la composición de la infauna cambia a una comunidad menos diversa dominada por especies tolerantes a disturbios y contaminantes.

Para identificar la infauna presente en el Estuario se colectaron muestras del sedimento utilizando una draga tipo Van Veen (ver Foto 1.A). Dichas muestras se lavaron y filtraron en una maya de 0.05 mm de diámetro (ver Foto 1.B) la cual retiene los organismos objeto de estudio. Se observaron 258 especies diferentes de infauna béntica y del total de los individuos contabilizados predominó (en abundancia) el grupo de los anélidos. Éstos son invertebrados alargados del tamaño de la cabeza de un alfiler (1 mm). Uno de los anélidos observados fue la especie *Capitella capitata*, un indicador de áreas que reciben descargas con alto contenido de materia orgánica y nutrientes.

Con las observaciones hechas se procedió a calcular un índice béntico, se trata de un número que se utiliza como indicador de las condiciones del Estuario, basado en la abundancia de especies indicadoras de ambientes contaminados y especies de ambientes conservados. El resultado es un valor numérico que entre más alto, más saludable se encuentra.

Foto 1.

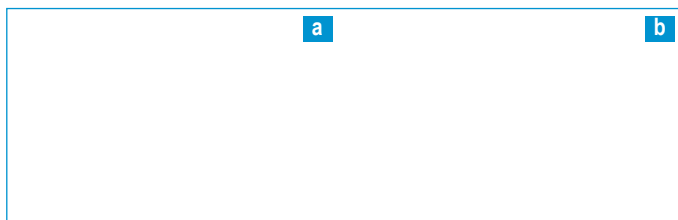


Tabla 1. Índice béntico promediado para los cuerpos de agua del estuario.

CUERPO DE AGUA ESTUARINO	PROMEDIO ÍNDICE BÉNTICO
Bahía de San Juan	2.63
Laguna del Condado	2.72
Canal San Antonio	3.09
Laguna Torrecilla	2.74
Laguna San José	1.35
Canal Blasina	1.41
Caño Martín Peña	1.00

De acuerdo a los resultados (Tabla 1), los cuerpos de agua con los índices bénticos promedios más altos fueron el Canal San Antonio (3.09), Laguna del Condado (2.72), Laguna Torrecilla (2.74) y la Bahía de San Juan (2.63). Esto significa que contienen más especies bénticas indicadoras de condiciones buenas que especies indicadoras de contaminación y en general comunidades saludables. Por el contrario, la Laguna San José, Canal Blasina y el Caño Martín Peña obtuvieron los índices bénticos más bajos, lo que indica mayor presencia de especies indicadoras de contaminación.

Otro hallazgo importante es que existe una correlación entre el índice béntico y la distancia a la que se encuentra el cuerpo de agua salada del Océano Atlántico. El Atlántico es la única fuente de agua salada que entra al sistema del Estuario de la Bahía de San Juan y también su principal fuente de agua limpia oceánica. Los cuerpos de agua que obtuvieron los índices bénticos más bajos -como el Caño Martín Peña y la Laguna San José- son precisamente los más distantes a las entradas de agua salada del Atlántico. Dicha observación sugiere que parte del problema de salud de éstos -según los resultados de los índices bénticos- resulta de la poca circulación que reciben. Los índices bénticos de este estudio nos ayudarán a ver los cambios en el estado de salud del Estuario a través del tiempo y a enfocar los esfuerzos de restauración en aquellos cuerpos de agua menos saludables.

Foto 1. Instrumentación para colectar muestras de sedimento (foto 1a) y filtrado de muestras (foto 1b).

CAPÍTULO VII

ESTUDIO BÉNTICO Y TIPOS DE FONDO DEL ESTUARIO DE LA BAHÍA DE SAN JUAN

El Estuario de la Bahía de San Juan (EBSJ) es el único sistema marino en el área metropolitana donde encontramos lagunas costeras, bahías, arrecifes de coral, praderas de hierbas (yerbas) marinas, playas arenosas y el sistema de manglares más extenso de Puerto Rico. Los tipos de fondos marinos y comunidades que se encuentran en el EBSJ son muy diversos. Con el objetivo de lograr manejar y proteger estas comunidades es imprescindible realizar estudios sobre su distribución espacial, extensión, y composición. Este tipo de estudio se conoce como un estudio béntico, “béntico” proviene de griego Benthos que significa profundidad y se refiere a los tipos fondos marinos y los organismos que lo habitan.

Recientemente el Programa del Estuario de la Bahía de San Juan contrató al Servicio Nacional de Pesquerías de los Estados Unidos adscrito a la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA, por sus siglas en inglés) para realizar un estudio béntico y caracterizar los diferentes tipos de fondos en el Estuario. El estudio comprendió la Bahía de San Juan (Puerto Nuevo, Península la Esperanza, Bahía de Cataño y la costa desde La Puntilla hasta La Fortaleza), Canal San Antonio, Laguna del Condado, Canal Martín Peña, Laguna San José, y Laguna Torrecilla (ver Figura 1).

La caracterización de los tipos de fondos y comunidades bénticas se realizó utilizando un sistema conocido como Sonar de Barrido Lateral (SSS por sus siglas en inglés). Este instrumento envía una señal de sonar (ondas de sonido) hacia el fondo, entra en contacto con algún objeto y genera un eco o rebote el cual es enviado a una computadora que traduce la señal en una imagen digitalizada. Al mismo tiempo se obtiene la posición del instrumento por GPS (Sistema de Posición Global) lo cual da la posición exacta de la imagen del fondo. Los hábitáculos bénticos observados en el EBSJ fueron clasificados en tres tipos: Áreas Dragadas, Áreas No-Dragadas y Áreas con presencia de Estructuras Construidas por el hombre. Estas áreas a su vez fueron sub clasificadas en zonas dependiendo del tipo de hábitáculo, sustrato y comunidad marina observada en: (1) Rocas, (2) Fondos Coralinos, (3) Vegetación Acuática Sumergida, (4) Fondo Duro o Consolidado, (5) Lodo, (6) Banco de Bivalvos, (7) Estructuras de Concretos y (8) otros.

Se caracterizaron un total de 1,213 hectáreas del fondo marino del EBSJ (ver Figura 1). Los fondos que más se observaron fueron las áreas compuestas de Lodo No-Dragado, los que cubren un 85% (1030 ha) del área total de estudio. La Vegetación Acuática Sumergida (SAV) en áreas No-Dragadas le sigue con un 13 % (152 ha) del área total. La

yerba de tortuga, *Thalassia testudinun*, la yerba de canal *Halophila decipiens* y praderas de algas rojas fueron las especies predominantes. La Laguna del Condado presentó la pradera de Vegetación Acuática Sumergida más conservada y extensa del sistema con aproximadamente 8.8 ha de *Thalassia testudinun* (ver Figura 2) mientras que la Laguna Torrecilla presentó áreas menos extensas con praderas de algas rojas. Los Bancos de Bivalvos de la especie *Mytilopsis domingensis* o mejillón falso fueron observados en la Laguna San José (ver Figura 3) cubriendo un 2% (27 ha) del área total de estudio. Esta especie probablemente juega un papel ecológico importante en el sistema pues es fuente de alimento a otras especies en la cadena alimenticia. Además, el mejillón falso puede contribuir a mejorar la calidad del agua en la Laguna ya que se alimenta filtrando el material disuelto en la columna de agua.

Las estructuras construidas por el hombre son las que más abundan dentro de la Bahía de San Juan, particularmente en el Canal San Antonio, Punta Cataño, y hacia el Oeste de Isla Grande. Las estructuras registradas consisten principalmente de automóviles desechos, embarcaciones y llantas distribuidas de manera dispersa y en algunos casos visibles desde la superficie. Dichas estructuras pueden constituir hábitáculos artificiales para la fauna acuática presente en el área. Se detectaron además diferentes tipos de perturbaciones en el fondo marino particularmente cicatrices en el fondo causadas por el impacto de las hélices de embarcaciones de motor en áreas de poca profundidad y grandes depresiones en la Laguna Torrecilla, Laguna San José, Laguna del Condado y la Bahía de Cataño (ver Figura 4). Dichas depresiones son el resultado de la extracción de sedimentos para utilizarse como material de relleno para la construcción en las décadas entre 1950-1960. La Bahía de San Juan fue el área que presentó las alteraciones de mayor envergadura de todas las áreas examinadas.

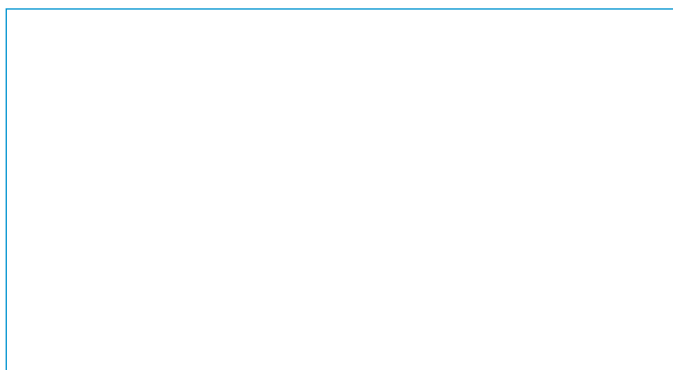




Figura 1. Área donde se realizó el estudio béntico dentro Estuario de la Bahía de San Juan.



Figura 3. Tipos de fondos y comunidades bénticas en la Laguna San José. SAV = vegetación acuática sumergida.

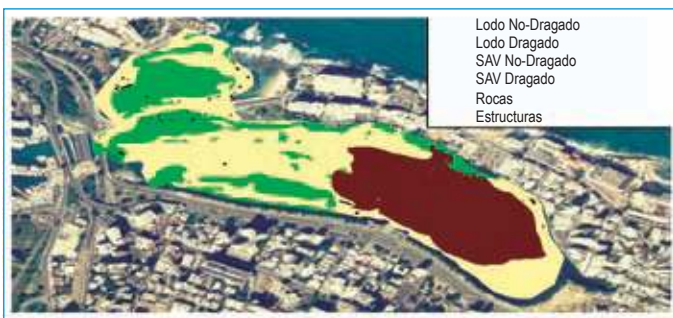


Figura 2. Tipos de fondos y comunidades bénticas en la Laguna del Condado. SAV = vegetación acuática sumergida.



Figura 4. Tipos de fondos y comunidades bénticas en la Península La Esperanza y Bahía de Cataño. SAV = vegetación acuática sumergida.

	Habitáculo	Canal San Antonio	Punta Cataño	Laguna del Condado	Puerto Nuevo	Bahía de San Juan	Esperanza	Laguna San José	Laguna Torrecillas	Canales	TOTAL
Áreas Dragadas	Fondo Duro			0.001				0.03		34.53	0.05
	Lodo	24.28	3.14	10.72	29.81	6.52		92.65	14.76	0.10	216.41
	SAV	0.11	1.12	0.01				0.21	0.09	0.08	1.65
Estructuras Construídas	Estructuras de Concreto	0.25	0.02	0.02		0.01		0.99	0.08	0.02	1.45
	Otros	0.04	0.11		0.13			0.03	0.06		0.40
Áreas No Dragadas	Bivalvos							26.73		0.00	26.73
	Fondo Duro		0.25	0.10	0.31	0.03	0.03	1.49	0.01	1.28	2.20
	Lodo	6.78	162.82	17.24	203.52	13.03	13.03	242.53	143.78		813.79
	SAV		31.49	8.88	2.80	1.85	1.85	94.41	4.36	36.00	150.11
	TOTAL	31.46	198.96	36.98	236.57	35.67	14.91	459.09	163.15	34.53	1212.78

IMPORTANCIA DE LAS YERBAS MARINAS

Las yerbas marinas son plantas acuáticas que producen flores y semillas (angiospermas) que en un momento colonizaron el ambiente sumergido. Algunas especies forman extensas praderas o herbazales marinos que parecen céspedes. Tienen una gran importancia pues sirven de alimento y refugio a una gran cantidad de criaturas marinas. Muchas especies de importancia comercial como los pargos (Lutjanidos), el carrucho (*Strombus gigas*), pulpos y la langosta espinosa (*Panulirus argus*) habitan los herbazales marinos. Algunas especies en peligro de extinción como el Manatí antillano (*Trichechus manatus*) y la tortuga verde (*Chelonia midas*) se alimentan directamente de las yerbas marinas. Algunas especies de peces migran durante la noche desde el arrecife de coral a las praderas de yerbas marinas para alimentarse y para otras son un vivero donde se protegen en sus etapas juveniles. Su importancia no queda aquí, pues oxigenan el agua, estabilizan los sedimentos y amortiguan el impacto de las olas.

TOXICOLOGÍA



SECCIÓN

CAPÍTULO VIII

TÓXICOS EN PECES Y CRUSTÁCEOS

La Agencia de Protección Ambiental (Región 2, en adelante EPA) en colaboración con el Servicio Nacional de Pesquerías (NMFS por sus siglas en inglés), la Junta de Calidad Ambiental de Puerto Rico y el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales de Puerto Rico realizaron una colección de peces y cangrejos en la Laguna San José con el propósito de analizar el contenido de contaminantes en los tejidos y órganos internos para el 2000-2001. Los resultados de dicho estudio se publicaron en enero del 2008 y ofrecen una evaluación a los riesgos a la salud por consumir mariscos capturados en dicho cuerpo de agua.

El estudio consistió en medir la cantidad de contaminantes en los tejidos de los peces y compararlos con unos valores conocidos como los "Screening Values" (en adelante los SV) para determinar el grado de riesgo por consumo. Los SV son valores calculados por la EPA para determinar las concentraciones permitidas y seguras en el consumo de mariscos. Si la cantidad promedio de un contaminante detectado en peces o crustáceos exceden estos valores, entonces existe un riesgo potencial a la salud por el consumo de los mismos (USEPA 2000^a). Los SV para este estudio se obtienen por medio de cálculos donde se asume que una persona de unos 70 kg de peso consume 17.5 gramos del alimento por día (U.S. EPA 2000^a).

La primera fase consistió en la identificación y captura de aquellas especies de importancia económica y recreativa. Éstas fueron: Cocolía (*Callinectes sapidus*), Sábalo (*Megalops atlanticus*), Robalo (*Centropomus undecimalis*), Jurel (*Caranx sps*), Paguala (*Chaetodipterus faber*), Tilapia (*Oreochromis sps*), Jarea (Mugilidae) y Mojarra (*Eugeris plumieri*). Luego se procedió a extraer muestras de los tejidos (músculos y víceras) para entonces analizar el contenido de diversos contaminantes. Los contaminantes analizados en los tejidos fueron principalmente metales trazos (ver Tabla 1) y contaminantes orgánicos sintéticos como los bifenilos policlonados (PCBs), las dieldrinas, los hidrocarburos aromático policíclicos (PAHs) y el dicloro-difenil-tricloroetanos (DDT) (ver Tabla 2). De todos los metales analizados únicamente el plomo se encontró en concentraciones altas y esto fue en el pez Robalo. Los PCBs, los PAHs, las dieldrinas y el DDT se detectaron a concentraciones notables como para designarlos por la EPA como contaminantes de preocupación potencial.

Las hepatopáncreas son los órganos que constituyen el tracto digestivo en los crustáceos como la cocolía. Es una glándula de color verde amarillo que se encuentra bajo las agallas. Ésta debe

ser removida antes de cocinar y descartar el agua donde se hirvió el crustáceo para minimizar riesgos a la salud.



La concentración promedio en los tejidos de peces y crustáceos se comparó con los valores SV para determinar los factores de riesgo por consumir dichas especies (ver Tabla 2). Como se demuestra en la Tabla 2, la concentración promedio de PCB en las ocho especies estudiadas sobrepasaron el criterio establecido por la EPA de 20 ppb a excepción del tejido muscular de la cocolía. La dieldrina fue el otro contaminante que excedió el criterio de 2.5 ppm en las hepatopáncreas de las cocolías aunque las concentraciones observadas en las otras especies fueron relativamente altas. En términos del DDT, la concentración promedio más alta se encontró en las hepatopáncreas de la cocolía pero el valor no excedió el SV de 117 ppb.

De acuerdo a la concentración promedio, el contaminante de mayor preocupación y riesgo son los PCBs, que excedieron los SV en todas las especies estudiadas a excepción del tejido muscular de las cocolías. Solamente en las hepatopáncreas de esta especie se encontraron concentraciones de dieldrina sobre los SV además de otros contaminantes lipofílicos como los PCBs, los PAHs y DDT. Es importante mencionar que la parte comestible de la cocolía – el tejido muscular o la carne – presentó concentraciones muy bajas de estos contaminantes por lo que se considera seguro consumir la misma. No obstante, debido a las altas concentraciones de estos contaminantes en las hepatopáncreas se recomienda seguir unas recomendaciones durante su procesamiento y limpieza.

El estudio recomienda continuar observando la presencia de estos contaminantes en los peces y crustáceos para evaluar el efecto a largo plazo y los efectos combinados o aditivos (sinergismos) por la presencia de varios contaminantes en un individuo. Además, es importante tener presente que los factores de riesgos (SV) calculados

asumen un adulto de 70 kg y no considera los efectos a niños o mujeres embarazadas, los cuales son más susceptibles. El estudio tampoco hace ajustes o toma en cuenta las diferencias en las poblaciones y patrones alimenticios locales.

Los tejidos grasos acumulan y concentran contaminantes órgano-clorinados (PCBs, dieldrina y el DDT) más que en los músculos del cuerpo. Es por tal razón, que el estudio recomienda eliminar el tejido graso, la piel y las víceras y otros órganos internos antes de cocinar y consumir el pescado. De esta forma se puede lograr reducir los riesgos de su consumo.

DDT- El dicloro-difenil-tricloroetano (DDT) fue un pesticida muy utilizado después de la Segunda Guerra Mundial por ser bien eficiente en la eliminación del mosquito y otros vectores portadores de enfermedades. Sin embargo, se ha descubierto que el DDT afecta el sistema nervioso y es carcinógeno. También se le considera un disruptor endocrino (compuesto que imita, inhibe, o interfiere con las hormonas naturales del cuerpo afectando la reproducción, metabolismo y el desarrollo de los organismos). Para la década de los setenta, se observó una disminución en la población del Pelicano Pardo (*Pelicanus occidentalis*) que se debió a que los huevos se rompían en el nido al ser muy frágiles. La fragilidad del huevo se debía a la falta de calcio, elemento que le imparte dureza. La falta de calcio se debió a que los pelicanos no producían el elemento en su oviducto pues el DDT inhibe la producción de estrógeno, la hormona encargada de regular las bombas de calcio en el oviducto. De hecho, por esta situación se enlistó hasta el 2009 el Pelicano Pardo como especie en peligro de extinción.

PAHs- Proceden de la combustión incompleta de hidrocarburos, son pocos solubles en agua-al igual que los otros contaminantes del estudio- por lo que se acumulan en los sedimentos y arcillas en el fondo. Entran a la cadena alimenticia por medio de organismos que habitan en los fondos de los cuerpos de agua, como la cocolía. Estos compuestos son considerados disruptores endocrinos, provocan el desarrollo de tumores y son mutagénicos.

PCBs- Fueron producidos en gran cantidad hasta la década de los 70, mayormente en forma líquida aunque se producen como resina o talco. Son compuestos muy estables y muy resistentes al calor. Por esta propiedad, fueron ampliamente utilizados en aplicaciones industriales en los transformadores, capacitadores, fluidos hidráulicos, lubricantes y pinturas. También fueron utilizados como aislantes y fluido de enfriamiento. Interfieren con la reproducción en peces, aves y otras especies. Se bioacumula en el tejido adiposo. Muy persistente en el ambiente, todavía hoy se detecta aunque dejó de utilizarse en la década de los setenta. La fuente principal de PCBs son los transformadores eléctricos desechados en los cuerpos de agua. Actúan como disruptores endocrinos.

Disruptores endocrinos- son compuestos que interfieren en la producción, liberación, transporte, acción y eliminación de hormonas naturales responsables del mantenimiento y regulación de procesos metabólicos. Están asociados con la desmasculinización, feminización en peces y otros organismos. Afectan la capacidad reproductiva pues degeneran las gónadas y altera la conducta reproductiva de las especies.

Tabla 1. Concentración promedio (ppm) de metales trazos en diferentes especies de peces colectados en la Laguna San José.

ESPECIE	ALU MINIO	AR SENICO	CAD MIO	CRO MO	CO BRE	HIE RRO	PLO MO	MER CURIO	NÍ QUEL	SELE NIO	PLA TA	TINO	ZINC
Cocolía	1.90	0.34	0.0035	0.17	5.6	6.0	0.038	0.056	0.19	0.35	0.19	0.15	38
Jurel	1.20	0.28	0.0023	0.22	11.0	11.0	0.51	0.070	0.64	0.22	0.0023	0.093	15
Jarea	0.63	0.38	0.0020	0.15	11.0	9.0	0.39	0.060	0.93	0.22	0.0020	0.11	13
Róbalo	0.62	0.17	0.0025	0.24	6.5	9.3	0.24	0.071	0.96	0.36	0.0019	0.25	10
Paguala	0.75	0.37	0.0018	0.13	6.5	6.0	0.30	0.040	2.0	0.40	0.0018	0.095	11
Mojarra Estriada	0.49	0.20	0.0045	0.25	1.3	8.3	0.061	0.039	0.12	0.28	0.0045	0.045	11
Sábalo	0.64	0.48	0.0018	0.16	8.2	5.5	0.031	0.0060	0.30	0.42	0.0018	0.086	11
Tilapia	0.51	0.27	0.0020	0.23	5.9	4.0	0.23	0.010	0.29	0.40	0.0020	0.099	13

Tabla 2. Concentración promedio (ppm) de contaminantes de alto riesgo a la salud para las especies estudiadas en la Laguna San José. Los criterios de barrido (SV) se presentan en paréntesis bajo cada contaminante. Los encasillados sombreados excedieron los SV por lo tanto dichas especies se consideran de alto riesgo para consumo.

ESPECIE	PCBs (0.02 ppm)	AR SÉNICO (0.026 ppm)	DIEL DRINA (0.0025 ppm)	PAHs (0.00547 ppm)	DDT (0.12 ppm)
Jurel	0.20	0.0055	0.0015	0.00099	0.040
Cocolía (hepatopáncreas)	0.19	N/A	0.0034	0.0017	0.048
Jarea	0.14	0.0076	0.0005	0.00089	0.027
Mojarra Estriada	0.10	0.004	0.00019	0.00034	0.025
Paguala	0.079	0.0073	0.00097	0.0015	0.012
Tilapia	0.041	0.0053	0.00062	0.00034	0.0064
Cocolía (cuerpo entero)	0.04	N/A	0.00069	0.00052	0.010
Sábalo	0.040	0.0095	0.00014	0.00086	0.0061
Róbalo	0.038	0.0035	0.00029	0.00039	0.0079
Cocolía (músculo)	0.0073	0.0067	0.000072	0.00026	0.0013

Referencias:

U.S. EPA (Environmental Protection Agency). 2000^a. Guidance for Assessing Chemical Contaminant Data for Use in Fish Advisories-Fish Sampling and Analysis. Volume 1. 3 rd Edition. EPA 823-B-00-007. Office of Water, Washington, DC.

U.S. EPA (Environmental Protection Agency). 2008. San Jose Lagoon Fish Tissue Analysis Final Report. EPA Region 2 Division of Environmental Science and Assessment, Edison, NJ 08839.



La Cocolía
Callinectes sapidus

- Crustáceo de cinco pares de patas especializadas.
- El primer par de patas se conoce como las pinzas o quelípedos que utiliza para alimentación, defensa, cortejo y disputas territoriales.
- El último par de patas funciona como aletas pues son hábiles nadadores.
- Las hembra se aparea una sola vez durante la muda.
- La hembra produce de dos a ocho millones de huevos en una masa llamada la esponja ubicada bajo el carapacho.
- El desove ocurre en las zonas más saladas del Estuario.
- Es una especie de importancia económica pues su carne es muy sabrosa.
- Se alimenta de almejas, mejillones, residuos de plantas y animales (detrito).
- Se mueve muy cerca del fondo para evitar ser detectados por depredadores.
- Son muy susceptibles a niveles bajos de oxígeno a causa de la contaminación.
- Se distribuyen a lo largo de la costa Este de América desde Nueva Escocia hasta la costas de Argentina.

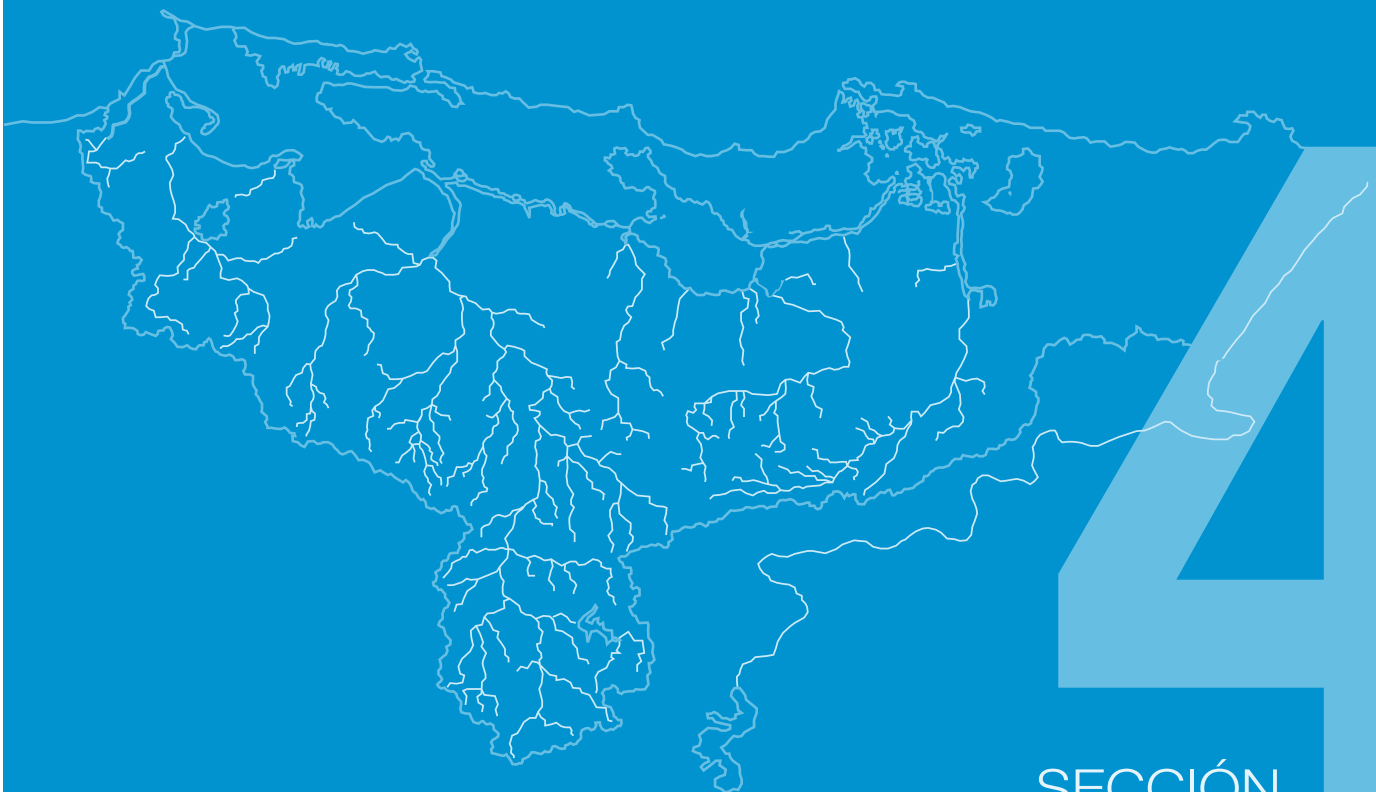


Róbalo (*Centropomus undecimalis*)
Es una especie estuarina capaz de moverse desde ambientes marinos hasta los ríos y quebradas.



Sábalo (*Megalops atlanticus*)
Especie estuarina de gran importancia para la pesca deportiva y recreativa.

FLORA Y FAUNA



SECCIÓN

4

CAPÍTULO IX

EL IMPACTO DE LA IGUANA EN LOS ECOSISTEMAS DEL ESTUARIO

“El Impacto de la Iguana iguana en los ecosistemas del Estuario” es un estudio dirigido por el Dr. Tomás A. Carlo Joglar (Assistant Professor of Biology, The Pennsylvania State University, PA) y el Dr. Carlos G. García Quijano (Investigador Asociado, Instituto de Investigaciones Interdisciplinarias, Universidad de Puerto Rico, Cayey, PR). Su objetivo fue realizar un examen sobre la distribución, patrones en la abundancia y los impactos ecológicos y culturales de la iguana verde (*Iguana iguana*) en el Estuario de la Bahía de San Juan.

La iguana verde (*Iguana iguana*) es oriunda de América del Sur y fue introducida en Puerto Rico hace más de dos décadas como mascota (todavía hoy la observamos en venta en los centros de mascotas o “pet shops”). La especie es sexualmente dimórfica pues el macho es más grande y vistoso que la hembra. Los machos pueden pesar sobre 30 libras y alcanzan la madurez sexual a los 16 meses. Las hembras depositan sus huevos en el suelo – preferiblemente arena- en una bóveda excavada por la hembra donde depositan hasta 60 huevos. La iguana es vegetariana y posee adaptaciones para trepar árboles y alimentarse de hojas y flores.

El estudio contabilizó 1,625 iguanas donde un 98 % se encontró en árboles bordeando lagunas, canales y la Bahía. La mayor cantidad de iguanas se encontró en Laguna Torrecilla, el Caño Martín Peña y la Bahía de San Juan (Tabla 1). Las iguanas se ubican en los bosques de mangles y árboles que bordean los asentamientos como urbanizaciones y carreteras, no así hacia el interior de los bosques de mangle. Esta distribución en los bordes puede crear una falsa impresión de abundancia pues se concentran donde son más visibles. El impacto más directo es la defoliación del mangle (Tabla 2) y en especial del mangle negro (*Avicenia germinans*).

Como parte del estudio, el equipo de investigadores construyó 20 nidos artificiales entretejiendo fibra de coco y hojas de palma. A éstos se le colocó huevos de gallina y se monitorearon continuamente hasta cuatro días utilizando cámaras automáticas de vídeo activadas por medio de sensores de movimiento y calor. Al final del estudio, se documentaron 1,896 horas de vídeo y fue posible observar a las iguanas interaccionando con los nidos pero ninguna se alimentó de los huevos, contrario a las ratas que sí se alimentaron de éstos. Esta observación nos lleva a concluir que las iguanas no presentan interés por los huevos de las aves. De hecho, durante los viajes de campo se observaron nidos de otras aves con huevos y pichones junto a las iguanas.

La segunda parte del estudio exploró las actitudes, percepciones e interacciones de la gente hacia la iguana verde mediante entrevistas. Los hallazgos reflejan que hay personas que le gusta y encuentran interesante la especie pero otras no; todas mostraron cierto grado de interés por conocerla mejor. La mayoría de los entrevistados no están de acuerdo en exterminarlas como parte de un programa de control poblacional.

El estudio observó una relación positiva entre la iguana y la industria turística pues al turista le agrada y le llama la atención. De hecho, hay hoteles que tienen en sus instalaciones estaciones de alimentación de iguana donde anuncian las horas donde serán alimentadas para poder observarlas. Algunas instalaciones turísticas también coordinan recorridos de campo por áreas verdes para observar iguanas.

El equipo de investigadores visitó unas 54 tiendas de venta de recuerdos turísticos (“souvenirs”) ubicadas en el Viejo San Juan. En éstas se contabilizaron un total de 78 artículos alusivos a la iguana en 33 de las 54 tiendas visitadas. De hecho, en algunos casos los dueños de las tiendas indicaron que los propios turistas preguntaban sobre artículos con la imagen de la iguana.

Puede encontrar una copia del estudio en el área científica en www.estuario.org

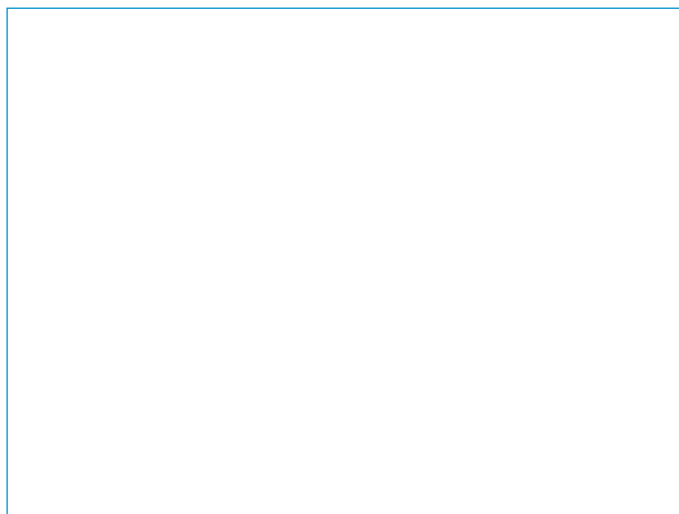


Tabla 1. Resumen de avistamiento de iguanas por áreas visitadas en el Estuario de la Bahía de San Juan.

CUERPO DE AGUA ESTUARINO	IGUANAS OBSERVADAS	DISTANCIA RECORRIDA (km)	% TOTAL OBSERVADO
Laguna Piñones	4	4.2	0.2
Laguna Torrecilla	919	19.5	58
Laguna Piñones (ZONA DE NO MANGLE)	14	5.0	0.8
Piñones Bosque Adentro	0	6.8	0.0
Laguna San José	65	12	3.9
L. San José (BOSQUE DE MANGLE ADEENTRO)	1	2	0.06
Caño Martín Peña & Parque Central	486	8.3	29.5
C. Martín Peña (MANGLE ADEENTRO)	2	0.5	0.12
Bahía de San Juan	100	4.2	6.07
Laguna del Condado	34	2.2	2.1

Tabla 2. Incidencia e intensidad de daños ocasionados por la Iguana a las diferentes especies de mangle en lo largo del Paseo Lineal Enrique Martí Coll (Caño Martín Peña). El mangle negro (*Avicennia germinans*) es el más afectado por la especie.

ESPECIE DE MANGLE	N	NINGUNA	BAJO	MODERADO	SEVERO	MUERTO
Mangle Negro (<i>Avicennia germinans</i>)	86	9	7	28	29	13
Mangle Blanco (<i>Laguncularia racemosa</i>)	170	144	14	10	2	0
Mangle Rojo (<i>Rhizophora mangle</i>)	101	89	6	1	2	2

CAPÍTULO X

EVALUACIÓN DE LOS CENSOS NAVIDEÑOS DE AVES ACUÁTICAS DEL PROGRAMA DEL ESTUARIO DE LA BAHÍA DE SAN JUAN.

Por: Laura L Fidalgo De Souza

Todos los años el Programa del Estuario de la Bahía de San Juan (PEBSJ) celebra un censo de aves en diferentes puntos del Estuario. El censo se realiza para la época navideña por ornitólogos y voluntarios aficionados a la observación y conservación de las aves. Este proyecto permite constatar el número y cantidad de especies de aves que habitan en el ecosistema y sirve como un indicador de la condición general del Estuario. El censo de aves del Programa forma parte del Censo Navideño de Aves organizado por el "National Audubon Society" desde el año 1900. Actualmente, más de 55,000 personas participan de censos navideños que se celebran en todos los Estados Unidos y provincias de Canadá, en varios países de Centro y Sur América y en el Caribe e Islas del Pacífico.

Un dato importante para el análisis de los censos del PEBSJ es que la organización mundial Bird Life International designó en el 2007 la Ciénaga las Cucharillas como Área Importante (IBA por sus siglas en inglés) para la conservación de las aves de Puerto Rico. En dicha ciénaga se encuentra una laguna de agua dulce conocida como Laguna Secreta y es donde mayor diversidad de aves acuáticas se observan en todo el EBSJ. Por otro lado, a través de la Convención de RAMSAR (tratado internacional dirigido a la conservación y uso sustentable de humedales) en Irán, se reconoció la importancia de los humedales como hábitculo de aves acuáticas a nivel internacional, tomando en consideración la gran variedad de aves que estos ecosistemas albergan.

Considerando que las aves son sensibles a cambios ambientales, se pueden utilizar especies de estas comunidades como indicadores de cambios en la estructura, composición, y funcionamiento del medio natural (Donnelly et al, 2004). Por tal razón, el monitoreo de aves acuáticas en los estuarios es una herramienta adicional para identificar cambios ambientales significativos. Además, conservar una comunidad variada y saludable de aves acuáticas dentro del Estuario enriquece el turismo de la zona metropolitana pues la observación de aves es un atractivo natural que atrae a personas de todas las edades a nivel local e internacional.

Los censos realizados dentro del EBSJ detectan alrededor de 88 especies de aves acuáticas (Rivera, 1996) de las aproximadamente 155 especies de Puerto Rico (SOPI, 2007); incluyendo especies de aves acuáticas reconocidas mundialmente vulnerables como las siguientes: la Chiriría Antillana (*Dendrocygna arborea*), el Pato Chorizo (*Oxyura jamaicensis*), el Pato Quijada Colorada, (*Anas bahamensis*), el Gallinazo Nativo (*Fulica caribaea*) y especies consideradas hasta

hace poco como en peligro de extinción como el Pelicano Pardo (*Pelecanus occidentalis*).

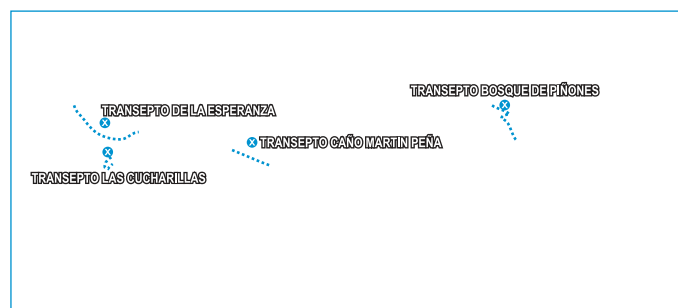
El presente estudio poblacional de aves acuáticas forma parte de la implementación del Plan Integral de Manejo y Conservación del Estuario de la Bahía de San Juan (2001; CCMP por sus siglas en inglés), documento que tiene como uno de sus objetivos "proteger las poblaciones existentes de aves vulnerables, y en peligro de extinción, y proteger y restaurar sus hábitats" (Acción HW-14 del CCMP). La población estudiada es la de aves acuáticas residentes y migratorias observadas dentro del EBSJ. Considero aves acuáticas a todas aquellas especies que se alimentan, reproducen, y/o refugian en o cerca del agua. Según el convenio de Ramsar define las aves acuáticas como "aves que dependen ecológicamente de los humedales".

Los datos poblacionales analizados en el presente estudio fueron recopilados durante los Censos de Aves Navideños de Audubon (CBC, por sus siglas en inglés). Para este estudio se seleccionaron particularmente los censos del 2000 al 2003 y del 2005 al 2006.

Las rutas estudiadas (Figura 1) fueron las siguientes:

- Las Cucharillas (C) y la Laguna Secreta, al oeste de la carretera PR-165 en Cataño.
- La Esperanza (E), a lo largo de la PR- 888, al margen de la Bahía de San Juan en Cataño.
- El Caño Martín Peña (CMP), sobre el Paseo Lineal Enrique Martí Coll del Parque Central hasta llegar al puente de la Avenida Muñoz Rivera en Hato Rey.
- El Bosque de Piñones (BP), por el paseo tablado comenzando por la costa del balneario y terminando dentro del Bosque de Piñones.

Figura 1.



RESULTADOS

Un total de 50 especies de aves acuáticas y 5,666 individuos fueron detectados como resultado de los censos de campo en las cuatro rutas antes mencionada. La Tabla 1 muestra la lista de especies y los sitios donde se observó la presencia de cada una de las especies.

Tabla 1. Presencia de aves acuáticas por sitio observado (C – Las Cucharillas, E – La Esperanza, CMP – Caño Martín Peña y BP – Bosque de Piñones). Res = Residente; MCD = Migratorio de corta distancia; MLD = Migratorio de larga distancia.

SITIO	C	E	CMP	BP
Nombre Común / Especie de Aves Acuáticas				
Carac teris tica				
Zaramago / Pied-billed Grebe <i>Podilymbus Podiceps</i>	Res	X		X
Boba Parda / Brown Booby <i>Sula Leucogaster</i>	MCD Res		X	X
Pelicano Pardo / Brown Pelican <i>Pelecanus Occidentalis</i>	MCD Res	X	X	X
Tijerilla / Magnificent Frigatebird <i>Fregata Magnificens</i>	Res		X	X
Garzón Cenizo / Great blue Heron <i>Ardea Herodias</i>	MCD Res	X	X	X
Martinete / Green Heron <i>Butorides Virescens</i>	MCD Res	X	X	X
Garza Azul / Little Blue Heron <i>Egretta Caerulea</i>	Res		X	X
Garza Ganadera / Cattle Egret <i>Bubulcus Ibis</i>	Res	X	X	X
Garza Real / Great Egret <i>Ardea Alba</i>	Res	X	X	X
Garza Blanca / Snowy Egret <i>Egretta Thula</i>	Res	X	X	X
Garza Pechiblanca / Tricolored Heron <i>Egretta Tricolor</i>	Res	X	X	X

SITIO	C	E	CMP	BP
Nombre Común / Especie de Aves Acuáticas				
Carac teris tica				
Yaboa Común / Yellow-crowned night Heron <i>Nycticorax Violaceus</i>	MCD Res	X	X	X
Yaboa Real / Black-Crowned Night Heron <i>Nyctanassa Volacea</i>	MCD Res			X
Martinete / Least Bittern <i>Ixobrychus Exilis</i>	Res	X		X
Pato Quijada Colorada / White-cheeked pintail <i>Anas Bahamensis</i>	Res	X		
Pato Acollarado / Ring-necked Duck <i>Aythya Collaris</i>	MLD	X		
Pato Pechiblanco / Lesser Scaup <i>Aythya Affinis</i>	MLD	X		
Pato Chorizo / Ruddy Duck <i>Oxyura Jamaicensis</i>	Res	X		
Pato Pescuecilargo / Northern Pintail <i>Anas Acuta</i>	MLD	X		
Pato Zarcel / Blue-winged Teal <i>Anas Discors</i>	MLD	X		
Aguila de Mar / Osprey <i>Pandion Haliaetus</i>	MCD Res	X	X	X
Pollo de Mangle / Clapper Rail <i>Rallus Longirostris</i>	Res			X
Gallareta Inglesa / Purple Gallinule <i>Porphyrie Martinica</i>	Res	X		
Gallareta Común / Common Moorhen <i>Gallinula Chloropus</i>	RES	X		X
Gallinazo / American Coot <i>Fulica Americana</i>	MLD	X		X

SITIO		C	E	CMP	BP
Nombre Común / Especie de Aves Acuáticas	Característica				
Gallinazo Nativo / Caribbean Coot <i>Fulica Caribaea</i>	Res	X			
Playero Acorallado / Semipalmated Plover <i>Charadrius Semipalmatus</i>	MLD		X	X	X
Playero Melódico / Piping Plover <i>Charadrius Melodus</i>	MLD	X			
Playero Sabanero / Killdeer <i>Charadrius Vociferus</i>	MCD-Res	X			
Playero Cabezón / Black-Bellied Plover <i>Pluvialis Squatarola</i>	MLD		X	X	X
Viuda / Black-Necked Stilt <i>Himantopus Mexicanus</i>	Res			X	
Playero Turco / Ruddy Turnstone <i>Arenaria Interpres</i>	MLD			X	X
Playero Solitario / Solitary Sandpiper <i>Tringa Solitaria</i>	MLD				X
Playero Gordo / Red Knot <i>Calidris Canutus</i>	MLD				X
Playero Coleador / Spotted Sandpiper <i>Actitis Macularius</i>	MLD		X	X	X
Playero Guineilla Pequeño / Lesser Yellowlegs <i>Tringa Flavipes</i>	MLD			X	X
Playero Guineilla Grande / Greater Yellowlegs <i>Tringa Melanoleuca</i>	MLD			X	X
Playero Arenero / Sanderling <i>Calidris Alba</i>	MLD		X		X
Playerito Menudo / Least Sandpiper <i>Calidris Minutilla</i>	MLD				X

SITIO		C	E	CMP	BP
Nombre Común / Especie de Aves Acuáticas	Característica				
Playerito Gracioso / Semipalmated Sandpiper <i>Calidris Pusilla</i>	MLD				X
Playero Patilargo / Stilt Sandpiper <i>Calidris Himantopus</i>	MLD			X	X
Playerito Occidental / Western Sandpiper <i>Calidris Mauri</i>	MLD				X
Gaviota Piquianillada / Ring-billed Gull <i>Larus Delawarensis</i>	MLD		X	X	
Gaviota Gallega / Laughing Gull <i>Larus Atricilla</i>	Res	X		X	
Charrán Común / Common Tern <i>Sterna Hirundo</i>	MLD		X		X
Gaviota Argentea / Herring Gull <i>Larus Argentatus</i>	MLD	X			
Gaviota Monja / Bridled Tern <i>Sterna Anaethetus</i>	Res		X		
Gaviota Real / Royal Tern <i>Sterna Maxima</i>	Res		X	X	X
Gaviota Piquiaguda / Sandwich Tern <i>Sterna Sandvicensis</i>	MCD-Res		X	X	X
Martín Pescador / Belted Kingfisher <i>Megaceryle alcyon</i>	MLD	X	X	X	X

Las aves acuáticas observadas con mayor frecuencia fueron el Gallinazo Nativo (*Fulica caribaea*), la Garza Ganadera (*Bubulcus ibis*), el Playero Cabezón (*Pluvialis squatarola*), el Pelicano Pardo (*Pelecanus occidentalis*) y el Playero Arenero (*Calidris alba*). Se dividieron en tres categorías de acuerdo al estado migratorio de cada especie en migratoria de larga distancia (MLD), residente (R) y migratoria de corta distancia y residente (MCD/R) (Azous, 2001). Las especies MLD se consideran aquellas que se encuentran parte del año en la isla para invernar y emigran a Norteamérica a reproducirse. Las

especies R habitan todo el año y se reproducen en la isla. Mientras que las especies MCD/R son aquellas donde algunos individuos de la misma especie emigran a otras islas del Caribe parte del año, mientras que otros permanecen presentes todo el año. Para cotejar el patrón migratorio se revisó el listado de especies de aves del Laboratorio de Ornitología de la Universidad de Cornell. (<http://www.allaboutbirds.org/guide/search>).

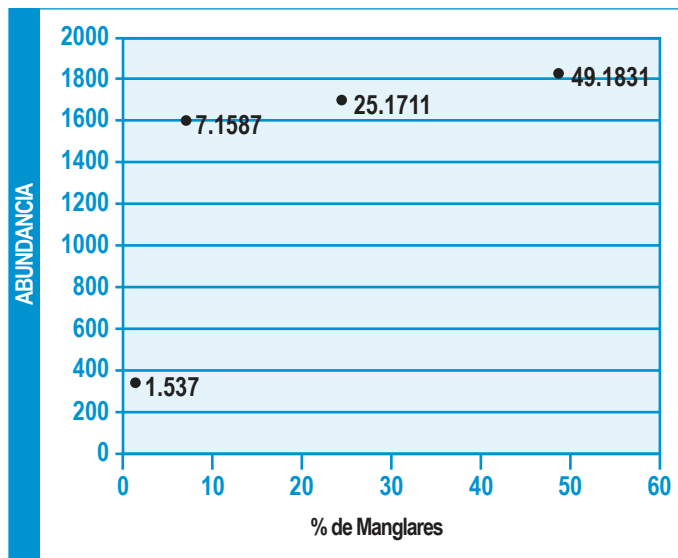
Al sumar el total de todas las especies observadas se obtuvo que un 46% son MLD, un 38% R y un 16% MCD/R. El mayor número de especies residentes (R) se observó en la Ciénaga Las Cucharillas mientras que el mayor número de especies migratorias fueron observadas en el Bosque de Piñones. De las 50 especies de aves detectadas, 23 resultaron ser MLD, representadas en su mayoría por la familia de playeros.

DISCUSIÓN

El presente estudio demuestra que existen diferencias en la composición de las comunidades de aves acuáticas en los sitios censados (Las Cucharillas, La Esperanza, Caño Martín Peña, y Bosque de Piñones). Las familias predominantes en las Cucharillas fueron los patos, gallinazos y gallaretas. En la Esperanza las gaviotas y pelícanos. Mientras que en el Caño Martín Peña fueron los playeros, gallinazos y gallaretas y en el Bosque de Piñones, los playeros.

Cuando comparamos el número de aves (abundancia) versus el por ciento de áreas de manglar observamos una relación directamente proporcional; mayor el por ciento de áreas de manglar mayor es el número de aves observadas (Figura 2).

Figura 2.



El mayor número de especies (riqueza) se detectó en el Bosque de Piñones; el área de mayor extensión de mangle y a su vez menos impactada por el desarrollo urbano, que contrasta con la Península la Esperanza, que obtuvo la menor riqueza de especies. Esta área se caracteriza por su limitada cantidad de manglares.

Es importante reconocer al EBSJ como un sistema primordial para la conservación de la diversidad biológica de Puerto Rico. Los Censos de Aves Navideños del EBSJ demuestran una composición y variedad de aves acuáticas singulares en cada sitio estudiado. Por lo antes expuesto, los cuatro sitios de observación son importantes en su conjunto para sostener y refugiar la gran variedad de especies que compone el Estuario. Observamos así, un 32% del total de aves acuáticas que se encuentran en Puerto Rico (SOPI, 2007); reuniendo el 42% de las aves acuáticas vulnerables y en peligro de extinción de la isla (según lista del Reglamento 6766 del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales del 2004) y un 46 % de las aves migratorias provenientes de Norteamérica que utilizan el Estuario como lugar de parada y refugio durante la estación de invierno. Se recomienda aumentar la frecuencia de los censos y añadir nuevas áreas en el EBSJ así como desarrollar índices de biodiversidad en base a los datos de campo.

BIBLIOGRAFÍA

- Cerame Vivas, M. J. (2006). Ecología, Puerto Rico. Pensamiento Crítico para el Nuevo Milenio. Hato Rey, Puerto Rico: Publicaciones Puertorriqueñas, Inc.
- Donnelly, R. E. y Marzluff, J. M. (2004). Designing research to advance the management of birds in urbanizing areas. International Urban Wildlife Symposium. Seattle, Washington.
- Programa del Estuario de la Bahía de San Juan (PEBSJ). (2001). Plan Integral de Manejo y Conservación para el Estuario de la Bahía de San Juan (Volumen 1). United State Environmental Protection Agency. San Juan, Puerto Rico.
- Rivera Herrera, L. J. (1996). Listado sobre Flora y Fauna del Estuario de la Bahía de San Juan. Programa Nacional del Estuario de la Bahía de San Juan. Publicación Técnica #01-96. San Juan, Puerto Rico.
- Siegel, A., Hatfield, C., y Hartman, J. M. (2005). Avian Response to Restoration of Urban Tidal Marshes in the Hackensack Meadowlands, New Jersey. *Urban Habitat*, 3(1): 87-116pp.
- Sociedad Ornitológica Puertorriqueña (SOPI). (2007). Catálogo de aves de Puerto Rico. Extraído en enero 10, 2009, http://avespr.org/listado_avespr.pdf
- Stolen, E. D., Breininger, D. R., y Frederick, P. C. (2005). Using Waterbirds as Indicators in Estuarine Systems: Successes and Perils. *Estuarine Indicators*. Boca Raton, Florida: CRC Press.



Yaboa Común
(*Nyctanassa violácea*)



Gallareta
(*Gallinula chloropus*)



Martinete
(*Butorides virescens*)



Pelicano Pardo
(*Pelecanus occidentalis*)



Garza Real
(*Ardea alba*)

CAPÍTULO XI

PROYECTO DE REMOCIÓN Y MANEJO DE MELALEUCA QUINQUENERVIA EN LA CUENCA DEL CANAL SUÁREZ

EN EL ESTUARIO DE LA BAHÍA DEL SAN JUAN-PRIMERA FASE • CAROLINA, PUERTO RICO.

Por: Walter E. Soler-Figueroa, Presidente, Ambienta Inc.

Los árboles de Melaleuca se han utilizado extensamente con propósitos ornamentales en la industria del paisajismo local e internacional. Este árbol también conocido como “Cayeput tree” y “Paperbark tree”, es nativo en Australia. La especie *Melaleuca quinquenervia* (nombre científico de este árbol) lleva cerca de cien (100) años como especie introducida en los EE.UU. La Melaleuca es un árbol perenne, siempre-verde, que alcanza alturas de hasta 100 pies (Scoles, Pratt, Silvers, Langeland, Meisenburg, Ferriter, Gioeli y Gray, 2006). Es identificado fácilmente por su corteza esponjosa, en capas de color marrón blanquizco que simula al papel y es fácil de pelar. Posee hojas lanceoladas y puntiagudas de color verde-grisáceo con olor a alcanfor cuando se maceran o estrujan. Las flores son color blanco en ocasiones con tonalidades crema-blanquizco y en forma de “cepillo de botella”. Las semillas están contenidas dentro de cápsulas de madera que pueden contener hasta 300 semillas minúsculas de color marrón. Un árbol de Melaleuca puede florecer en el plazo de 3 años después de germinar y tanto como 5 veces por año; las semillas dentro de las cápsulas se mantienen viables hasta por diez (10) años; y el estimado de semillas fluctúa entre 2 a 20 millones de semillas por árbol (DeVries y Doren, 1992; La Roche, 1994).

El árbol de Melaleuca, bajo condiciones ideales como mayormente lo son las ciénagas o los humedales herbáceos de agua dulce, tiende a crecer rápida y densamente, lo que propicia el apresurado establecimiento de rodales monotípicos muy densos. En el estado de Florida de EE.UU. se han documentado hasta 132,000 troncos o tallos por acre. Por lo general, estas infestaciones de Melaleuca tienden a desplazar la vegetación nativa, mayormente herbácea; degradar el hábitat de la fauna nativa; aumentar la evapotranspiración; y elevar los niveles del suelo por la cantidad de detrito que producen, lo que a su vez altera los patrones naturales de escorrentía y niveles de inundación. Aunque esta especie por lo general no representa una amenaza para las especies de árboles nativos, una vez que una semilla alcance una ciénaga o humedal de agua dulce y se establezca, las consecuencias son perceptiblemente negativas.

Un ejemplo sin precedentes es el impacto que la Melaleuca ha causado sobre los Everglades en el Estado de Florida, según lo documentado por el Dr. Paul Pratt del Proyecto T.A.M.E. Melaleuca (“The Areawide Management and Evaluation of Melaleuca”). Actualmente, existen más de 500,000 acres (202,350 hectáreas) infestadas con Melaleuca. Esta situación ha ocurrido, en parte, debido al éxito de colonización de la Melaleuca en el sistema estuarino de los Everglades. Sin embargo, se debe también a que en la década de

1930s, con el uso de aviones, se regaron millones de semillas sobre vastas áreas de humedales. Se desconocía los impactos adversos que podría tener esta acción en las interacciones entre sistemas naturales, y se asumió la premisa de que eran terrenos inundados sin ningún valor que la Melaleuca ayudaría a ganar secándolos y rellenándolos. Al presente, el Gobierno de los Estados Unidos, a nivel federal, y el Gobierno del Estado de Florida, a nivel estatal, han catalogado la especie como una plaga y la han incluido en los listados de especies nocivas para las cuales se prohíbe la venta, posesión, producción y transportación.

Hasta hace poco tiempo, se creía que este comportamiento sería extremadamente improbable en Puerto Rico porque es muy difícil que las semillas germinen en el ambiente urbano. Las semillas de este árbol requieren que las condiciones del suelo sean muy húmedas o saturadas para germinar y establecerse (La Roche, 1994; Quevedo-Bonilla, 1995). Además, las características apropiadas del suelo deben estar presentes hasta un radio de aproximadamente 560 pies (171 m) del árbol de Melaleuca, puesto que la mayoría de las semillas no son dispersadas por el viento más lejos que esta distancia durante condiciones atmosféricas normales (Browder y Schroeder, 1981). Sin embargo, cuando las semillas encuentran un sitio apropiado para su desarrollo, esta especie tiene pujantes adaptaciones que la convierten en una plaga descomunal y casi imposible controlar.

La Melaleuca fue introducida en Puerto Rico muy probablemente como especie ornamental después de los años 1920s (Liogier y Martorell, 1982). Debido a su tamaño, aspecto, desarrollo rápido y capacidad de crecer en los espacios confinados, fue una de las especies más populares para reforestar áreas urbanas en la isla. Una de las preocupaciones principales en establecer especies de plantas y animales fuera de su hábitat natural es el potencial de la reproducción vigorosa y desmedida de la especie introducida o exótica y la dislocación que resulta sobre las especies nativas. Las especies exóticas pueden a menudo propagarse rápidamente porque los controles naturales de la población (es decir, enfermedades, depredadores, plagas, etc.) no se encuentran en el área donde se están introduciendo.

La Melaleuca se adapta bien al fuego. Su corteza de papel se quema fácilmente pero también protege el árbol y lo ayuda a sobrevivir. La corteza lleva las llamas al dosel donde están las hojas. Las hojas de Melaleuca tienen un alto contenido de aceite y compuestos volátiles lo que hace que los fuegos sean muy calientes. El fuego propicia que las

cápsulas de las semillas se abran y disparen. Las semillas de Melaleuca germinan fácilmente en la tierra quemada, lo que hace que se multiplique la especie una vez expuesta al fuego (Scoles, Pratt, Silvers, Langeland, Meisenburg, Ferriter, Gioeli y Gray, 2006). Por tal razón el fuego no se debe utilizar como método de control de la especie.

En Puerto Rico, desafortunadamente, se ha sembrado Melaleuca cerca de áreas favorables para su germinación. Esto, debido a que en años recientes la Melaleuca ha ganado popularidad entre jardineros, horticultores y arquitectos paisajistas; y además, por el desconocimiento de las consecuencias que esta especie puede ocasionar. Esto ha resultado en la propagación natural del árbol de Melaleuca en humedales de agua dulce de la Isla, donde ya para la década de 1990s se había descubierto el establecimiento de los primeros tres (3) rodales conocidos.

En 1995, el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA) de Puerto Rico identificó un rodal de árboles de Melaleuca con una extensión de aproximadamente cinco (5) acres (2 hectáreas) en la reserva natural de la Laguna Tortuguero en el Municipio de Vega Baja (Quevedo-Bonilla, 1995). Un rodal más grande, con más de mil (1,000) árboles, fue encontrado en 1996 con una extensión de cerca de seis (6) acres (2.4 hectáreas) en Cabo Caribe, al noreste de la Laguna Tortuguero, en el mismo municipio. En 1997, personal del DRNA y del Programa del Estuario de la Bahía de San Juan (PEBSJ) confirmó la existencia de un rodal de aproximadamente 2 acres al sur del Canal Suárez en dicho estuario.

En años recientes, el DRNA ha estado trabajando con la remoción, control y erradicación de los rodales de Melaleuca asociados a la Laguna Tortuguero. Al día de hoy y basado en la información suministrada por el DRNA, el problema de infestación de Melaleuca en la Laguna Tortuguero está bajo control.

Por otro lado, como en el Estuario de la Bahía de San Juan (EBSJ), específicamente en la cuenca del Canal de Suárez, se apreciaron muestras evidentes del crecimiento agresivo de la Melaleuca como parte de su comportamiento en Puerto Rico, y del desplazamiento de la flora y fauna nativa como consecuencia inmediata, fue necesario tomar acción. El PEBSJ, PBS&J y Ambienta Inc. se unieron para formar un equipo interdisciplinario que laboró arduamente para manejar la gestión. En resumen, durante los meses de enero, febrero y marzo del año 2009, se removieron aproximadamente cuatro (4) acres del rodal de Melaleuca localizado al sur del Canal Suárez, y al norte de la Avenida Iturregui y de la Estación de la Autoridad Metropolitana de Autobuses (AMA) de Carolina. Actualmente, el área es monitoreada y manejada por un periodo de doce (12) meses que culminan en marzo del año 2010. Para futuras acciones de manejo, los árboles adyacentes y en la cercanía de la cuenca hidrográfica donde se trabajó, se identificaron y localizaron con sistema de posicionamiento global (GPS, por sus siglas en inglés).

Estas acciones fueron implementadas por el equipo interdisciplinario (PEBSJ, PBS&J y Ambienta Inc.) como parte de la Primera Fase del Proyecto de Remoción y Manejo de *Melaleuca quinquenervia* en la Cuenca del Canal Suárez en el Estuario de la Bahía del San Juan. En

esta fase del proyecto, se eliminó el rodal de dos (2) acres que se hubiera identificado en el año 1997; y en adición, se removieron dos (2) acres adicionales adyacentes al rodal previamente identificado, para un total de aproximadamente cuatro (4) acres. Se estima se removió un total ascendente a más de diez mil (10,000) árboles de Melaleuca entre los meses de enero a marzo del 2009. Durante la realización de las tareas, se identificó un cuarto rodal de Melaleuca adyacente a la Ciudad Deportiva Roberto Clemente, dentro de la misma cuenca del Canal Suárez, para el cual se están planificando acciones de manejo futuras.

La meta principal del proyecto fue la remoción de los árboles de Melaleuca en las áreas identificadas en el año 1997, consistente en dos (2) acres. Esta meta debía ser alcanzada siguiendo las recomendaciones del manual: "The Land Manager's Handbook of Integrated Pest Management of Melaleuca quinquenervia" (Manual de TAME Melaleuca) (Scoles, Pratt, Silvers, Langeland, Meisenburg, Ferriter, Gioeli y Gray, 2006). El Manual de TAME Melaleuca contiene guías, técnicas y recomendaciones para el manejo de la especie, basadas en experimentaciones y prácticas previamente ejecutadas en el Estado de Florida. Las guías y recomendaciones contenidas en el Manual están dirigidas a la remoción inmediata y/o sistemática de Melaleuca quinquenervia y al control y/o manejo del resurgimiento de brotes y reclutamiento de la especie.

La segunda meta del Proyecto fue reducir la cantidad de brotes a resurgir a partir de la remoción de los árboles existentes y controlar el reclutamiento de nuevos individuos, para lo cual se implementó un plan de manejo y mantenimiento por un periodo de un (1) año el cual culmina en el mes de marzo del año 2010.

Antes de ejecutar el Proyecto se evaluaron las diferentes, técnicas y recomendaciones contenidas en el Manual de TAME Melaleuca. Basado en la extensión del área (aproximadamente 4 acres), las condiciones de inundación, el tipo de suelo, las comunidades vegetativas presentes y el presupuesto disponible, se escogió una combinación de acciones incluidas en el Manual de TAME que fueran viables para la ejecución del Proyecto. El mejor acercamiento para la ejecución del Proyecto consistió en la utilización de dos (2) de las técnicas contenidas en el manual: remoción mecánica y utilización de herbicida. La remoción mecánica incluyó la remoción de árboles utilizando sierras de cadena (motosierras) en combinación con la aplicación de herbicida y la remoción de árboles con una trituradora o "mulcher".

La técnica de remoción de árboles mediante el uso de sierras de cadena fue practicada en áreas del Proyecto donde las elevaciones del terreno eran más bajas; donde la trituradora no podría tener acceso debido a que los niveles del agua eran demasiado altos; o porque habían canales que la trituradora no podía cruzar. Esta tarea fue ejecutada por un equipo de siete (7) personas incluyendo Biólogos; Especialistas en Humedales; Arbolistas Certificados; Profesionales de Siembra y Forestación; y Técnicos de Arboricultura. Un total de cuatro (4) sierras de cadena de la marca STHIL® fueron utilizadas simultáneamente para esta tarea. Una vez cortado el árbol, se procedió a aplicar herbicida en los tocones resultantes con asperjadores manuales. El herbicida usado fue glyfosato (Glyphosate):

N-fosfonometilglicina/C3H8NO5P) de la marca Rodeo® (comúnmente utilizado en sistemas acuáticos) a una concentración de 50% sin surfactante.

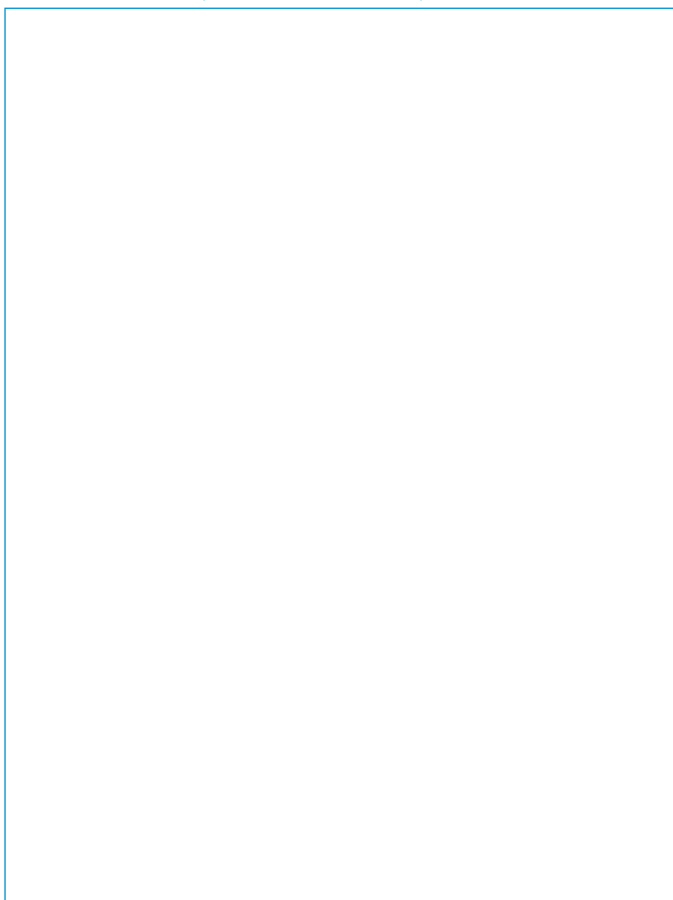
La técnica de remoción de árboles mediante el uso de una trituradora o “mulcher” fue practicada en la mayoría de las áreas del proyecto. Se utilizó la trituradora GyroTrack 500hf® operada mediante un ASV POSI-TRACK RC100® con tracción de cadenas de goma. Los árboles fueron removidos y triturados simultáneamente. El uso del herbicida no fue necesario con esta técnica pues por lo general no se produce ningún tocón. El GyroTrack 500 hf®, además de remover y triturar los árboles en el lugar donde mismo crecen, tritura el tocón resultante y parte del sistema radical de los árboles hasta una profundidad de entre cuatro a seis pulgadas (4”-6”) por debajo del nivel natural del suelo.

Las técnicas utilizadas, especialmente el GyroTrack 500hf® con el ASV POSI-TRACK RC100®, redujeron el potencial de dispersión de semillas que existía si se transportaba el material a otro lugar para su disposición. Además, la viruta resultante funcionó como barrera para la germinación de nuevos individuos por semillas durmientes en el suelo o por reclutamiento natural. También, la mezcla de viruta de madera y hojas en combinación con la materia orgánica de detrito de los árboles y el agua existente crearon condiciones de composta lo cual tiende a desviabilizar las semillas de los árboles removidos. Por otro lado, la técnica de remoción de árboles mediante el uso de sierras de cadena no sólo requirió la aplicación de herbicida al tocón resultante, sino que también requirió la aplicación de herbicida al tronco y follaje del árbol caído.

Los resultados inmediatos del Proyecto fueron excelentes. Se logró la remoción inmediata del doble del área del rodal de Melaleuca identificada en 1997, para un total de aproximadamente cuatro (4) acres. La meta original del Proyecto era la remoción de dos (2) acres de Melaleuca, sin embargo, utilizando un acercamiento integral y una combinación de las técnicas expuestas en el Manual de TAME Melaleuca, se logró la remoción de árboles en las áreas de crecimiento o expansión del rodal que surgieron durante los doce (12) años posteriores a su hallazgo en 1997.

Los resultados esperados del proyecto a largo plazo son muy prometedores ya que las actividades de monitoreo y mantenimiento que se están llevando a cabo actualmente, sugieren que se podrá lograr la erradicación de la especie en la Cuenca del Canal Suárez del Estuario de la Bahía de San Juan si se añaden actividades mensuales de mantenimiento y estrategias de manejo adicionales. Algunas de las estrategias de manejo son incluir la remoción del rodal de Melaleuca adyacente a la Ciudad Deportiva Roberto Clemente; la remoción de árboles de Melaleuca utilizados como ornamentales en las zonas urbanas en áreas adyacentes a la Cuenca del Canal Suárez; la utilización de grupos voluntarios para la remoción de los nuevos árboles que germinen en las áreas tratadas; y la reforestación de las áreas manejadas con especies nativas. Actualmente, hace falta identificar fondos disponibles de agencias gubernamentales y privadas para seguir implementando acciones de control, manejo y erradicación de *Melaleuca quinquenervia*.

Árbol de Melaleuca (*Melaleuca quinquenervia*)



CAPÍTULO XII

PROYECTO DE RESTAURACIÓN DE MANGLE ROJO (*Rizophora mangle*)

Los mangles son árboles tropicales que desarrollan adaptaciones para vivir donde los cuerpos de agua se encuentran con la tierra. Poseen mecanismos para sostenerse en suelos y sedimentos blandos e inestables. Además, son únicos pues tienen mecanismos para eliminar la sal del mar y colonizar ambientes costeros. En épocas pasadas eran considerados un desperdicio pues se creía que eran criaderos de mosquitos - vectores de enfermedades como la malaria y el paludismo-, al punto que existieron leyes y órdenes para eliminar los bosques de mangle y reclamar dichos terrenos para la agricultura y otros usos. Actualmente los manglares son protegidos pues los estudios ecológicos en torno a la especie confirman repetidas veces la importancia de estos ecosistemas. No obstante, las especies de mangle han sido impactadas a través del tiempo al punto que se estima que un 75 % de los bosques de mangle a nivel mundial ha desaparecido.

La desaparición del mangle en el Estuario de la Bahía de San Juan fue más intensa en unas áreas que en otras. Una de estas áreas severamente deforestadas es la Laguna del Condado. Los primeros impactos están relacionados con la actividad agrícola. Los primeros mangles fueron eliminados para hacer espacio a la siembra de palmas de coco y para la producción de carbón. En épocas recientes, gran parte del manglar que sobrevivió este primer episodio de deforestación fue eliminado por actividades de dragado y relleno para la construcción de hoteles, hospederías, muelles privados, vivienda y la construcción de la Avenida Baldorioty de Castro. Reconociendo las funciones y valores que provee el manglar y la pérdida de éstas por la deforestación antes mencionada, la Acción HW-3 del Plan integral de manejo y conservación del Estuario de la Bahía de San Juan propone la reforestación y siembra de mangle en los márgenes de la Laguna del Condado.

La Acción HW-3 fue completada con la siembra de 1,389 plántulas de mangle rojo (*Rizophora mangle*) con la ayuda de la comunidad que participó en 25 eventos de siembra. La comunidad estuvo representada por 747 voluntarios que invirtieron de su tiempo libre unas 3,156 horas. Los esfuerzos dedicados a la creación y distribución de material educativo como parte de este proyecto, la cobertura de los medios de comunicación local y sobre todo la participación activa de la comunidad en el proceso de restauración elevó el conocimiento sobre la importancia de conservar el Estuario de la Bahía de San Juan y sus ecosistemas. Desde el año 2008-2009, varios estudiantes del Colegio San Ignacio, como parte de sus actividades de voluntariado, trabajan en el proceso de monitoreo y mantenimiento del área de siembra de

mangle en la Laguna del Condado.

Para este proyecto de restauración, se implementaron tres (3) técnicas diferentes de siembra. Una de éstas fue la técnica de siembra conocida como la Técnica Encapsulada Riley (Riley R. 1998; <http://mangrove.org/method.htm>) donde la plántula del mangle rojo se siembra en el interior de un tubo PVC de un 1.5 pulgadas de diámetro. Esta técnica permite la protección de la plántula del embate del oleaje, la acción de las mareas, la escorrentía y contacto con material flotante hasta que la plántula es lo suficientemente fuerte para sostenerse. Una vez el arbolito desarrolla sus raíces de sostén, el tubo PVC es removido. La segunda técnica fue desarrollada por el Científico Ambiental del Programa del EBSJ la cual se conoce como la Técnica de Restauración Bauzá. La misma consiste en sembrar cuatro plántulas de mangle rojo alrededor y adheridas a un soporte. Esta técnica resultó ser una de rápido crecimiento y poco invasiva al entorno pues su gran éxito se debe a que fue desarrollada tomando en consideración las condiciones particulares del medio estuarino. La tercera técnica consistió en sembrar arbolitos desarrollados en viveros (de unos tres pies de altura) directamente al suelo.

Finalmente, se colocó una exhibición permanente en el Parque de La Laguna del Condado Jaime Benítez con información y fotos del proyecto. Esta exhibición permanente también cuenta con letreros informativos acerca de la función y valor de los mangles, la Laguna del Condado y los esfuerzos por restaurar este cuerpo de agua como parte de las acciones y metas del Programa del Estuario de la Bahía de San Juan.

El proyecto contó con la colaboración de múltiples entidades educativas, agencias federales y estatales, asociaciones de residentes y comerciantes, además de grupos de voluntarios de distintas entidades ambientales hermanas del PEBSJ. Las dos entidades federales que otorgaron fondos para el proyecto fueron la NOAA y la EPA.

Recientemente la compañía PharmaMar en colaboración con la Johnson & Johnson Pharmaceutical Research and Development anunciaron la producción de Yondelis® (Trabectedina, ET-743); un compuesto marino capaz de curar el cáncer de ovario – quinto tipo de cáncer causante de muerte- y sarcomas en tejidos blandos. Los sarcomas son tumores malignos que se desarrollan en el tejido muscular, huesos y otros. Este

innovador producto medicinal lo encontramos dentro de una criatura marina gelatinosa – el tunicado de mangle – que habita en las raíces sumergidas del mangle rojo. Aunque muy pequeño – media pulgada de longitud- el tunicado de mangle (*Ecteinascidia turbinata*) se adhiere al mangle formando colonias parecidas a ramilletes de uvas anaranjadas traslucientes.

BENEFICIOS DE LOS MANGLES

- **Protección de costas:** Al habitar en la costa actúan como barreras verdes protegiéndolas del embate de las olas, las mareas, la erosión, tsunamis y amortiguan el aumento en el nivel del mar.
- **Viveros:** Entre las raíces sumergidas del mangle se crían durante sus etapas juveniles la mayor parte de los peces y crustáceos que habitan en los arrecifes de coral. Muchas de estas especies son de gran importancia económica y recreativa.
- **Purificadores:** Filtran las aguas de escorrentía de sedimento y contaminantes antes de que lleguen a las aguas costeras. De esta forma, fomentan y sostienen cuerpos de agua saludables y ecosistemas marinos de gran importancia como los arrecifes de coral y las praderas de yerbas marinas.
- **Laboratorios de estudio:** Por su gran diversidad, proveen áreas para la investigación y estudio.
- **Recreación y esparcimiento:** Nos permiten disfrutar de la naturaleza y conectarnos con ella. En sus ramas habitan una diversidad de aves que depende del mangle para su alimento, procreación y protección.
- **Silenciadores:** Los manglares actúan como amortiguadores de ruido producto de la actividad humana.
- **Alimento:** Los manglares son áreas que sustentan especies comestibles como peces, crustáceos y ostras.
- **Fuente de medicamentos:** En los organismos que viven adheridos a las raíces sumergidas del mangle se han descubierto productos anticancerosos, anti-inflamatorios y analgésicos.



CAPÍTULO XIII

CREACIÓN DE LA VEREDA SUBMARINA DE ARRECIFES EN LA LAGUNA DEL CONDADO

La Laguna del Condado es uno de los cuerpos de agua estuarinos más diverso en términos de riqueza de fauna y flora acuática. En sus aguas habitan especies de peces tropicales, crustáceos, esponjas y estrellas de mar, entre otros. Además, encontramos especies en peligro de extinción como tortugas marinas y el manatí antillano. En la Laguna del Condado interactúan ecosistemas como comunidades coralinas, manglares y extensas praderas de yerbas marinas. Por su alto valor ecológico, la Laguna del Condado es un área designada como Zona de No Captura por el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales, lo que significa que en sus aguas está prohibida la pesca y la captura de especies marinas.

El valor recreativo de la Laguna 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 de vela, remo y el buceo. La Laguna cubre un área aproximada de 102 acres y tiene salida al Océano Atlántico en el área conocida como El Boquerón, al este del Fuerte de San Gerónimo.

Lamentablemente, la Laguna del Condado ha enfrentado varias crisis ambientales. En el 1994 ocurrió el encallamiento de la barcaza Morris J. Berman a unos 100 metros mar afuera de Punta Escambrón. Como resultado, se derramaron aproximadamente 800,000 galones de aceite No.6 que impactaron la playa al norte de la Laguna del Condado, sus comunidades coralinas y otros organismos acuáticos. El derrame afectó sobre 5,600 peces e invertebrados incluyendo tortugas marinas, aves que en ese momento estaban en peligro de extinción, como el Pelicano Pardo, entre otros. Se estima que aproximadamente 10,300 metros cuadrados de fondo marino y su biota fueron perjudicados.

El proyecto de creación de una vereda de arrecifes en la Laguna forma parte de un esfuerzo para compensar y mitigar la pérdida de hábitat marino a consecuencia del encallamiento del Morris J. Berman. Los fondos para la iniciativa fueron producto de un acuerdo con la empresa, coordinado por la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA por sus siglas en inglés) como una contribución para mitigar los impactos ocasionados por el derrame de 1994.

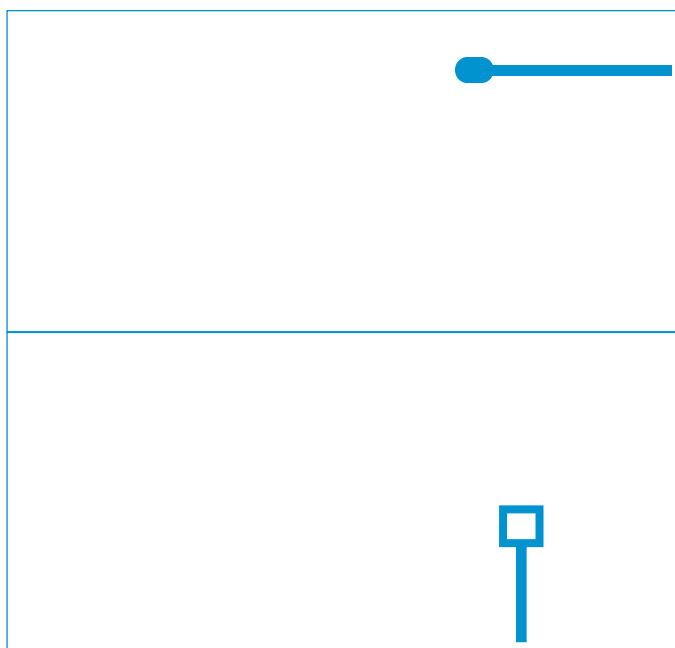
La vereda submarina se extiende por unos 100 metros a lo largo de la Laguna del Condado en dirección norte-sur (Figura 1). Está construida por 45 módulos que imitan el fondo marino conocidos como los arrecifes artificiales "Taíno Reefs®". Estos módulos tienen una altura de 0.53 metros, una longitud de 1.68 metros, cubren un área

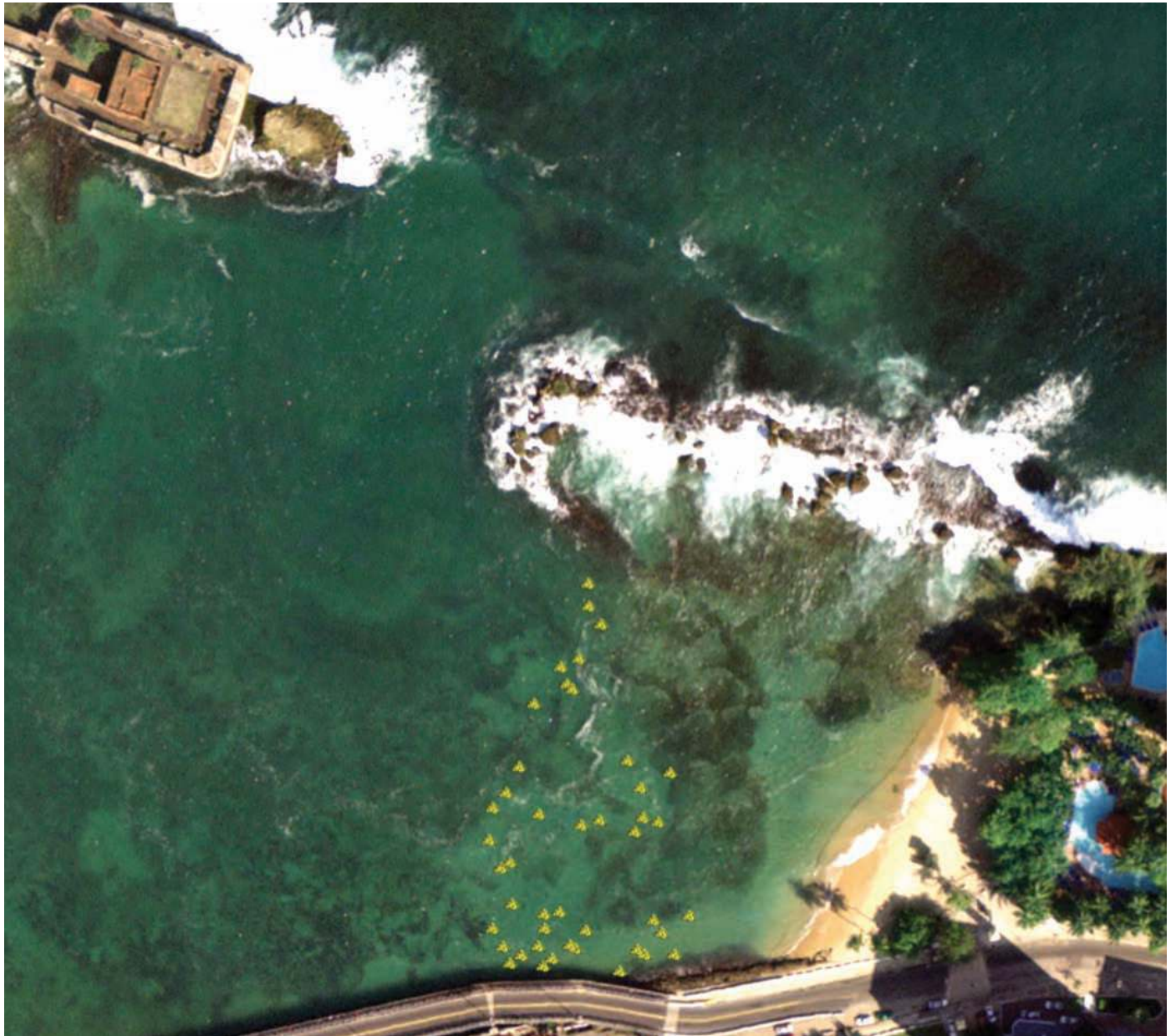
superficial de 1.79 m² y pesan 800 libras (Figura 2). Contienen múltiples entradas que dan acceso a la fauna acuática al interior de los módulos y proveen sustrato para el reclutamiento de corales y otras especies sésiles como las esponjas.

Luego de colocar los módulos, la respuesta de la fauna marina fue casi inmediata pues a los pocos meses se documentó un incremento de 6 a 13 especies diferentes de peces (Figura 3). De hecho, a seis meses de la colocación de los arrecifes artificiales se observó colonias de coral en crecimiento. La vereda submarina interpretativa también cumple la función de conectar praderas de hierbas (yerbas) marinas y otras comunidades marinas fragmentadas en el fondo de la Laguna del Condado, por lo que actúa como un corredor ecológico submarino.

La creación de hábitat marino para aumentar la biodiversidad es uno de los propósitos medulares de este proyecto. No obstante, la vereda submarina interpretativa provee beneficios y oportunidades recreativas pues permite al visitante - con el equipo adecuado- la observación de peces y otras criaturas marinas en su ambiente natural. Para aquellos que no tienen la oportunidad de observarla, pueden conocer de ella a través de la exhibición permanente ubicada a orillas de la playa.

Figura 1.





Mapa de la vereda de arrecifes en la Laguna Condado San Juan, Puerto Rico



Figura 2.

Figura 3.



EDUCACIÓN Y PARTICIPACIÓN CIUDADANA



CAPÍTULO XIV

EDUCACIÓN Y PARTICIPACIÓN CIUDADANA:

SU CONTRIBUCIÓN A LA RESTAURACIÓN Y MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA, SEDIMENTOS Y VIDA SILVESTRE DEL ESTUARIO DE LA BAHÍA DE SAN JUAN

Por: Gladys Rivera

El sistema del Estuario de la Bahía de San Juan ofrece un paisaje natural único para el disfrute de las actividades recreativas al aire libre. Las áreas naturales, al entremezclarse con las estructuras urbanas, crean un mosaico de diversos lugares, ideales para una amplia gama de actividades que incluyen la pesca, los paseos en botes de pedal o kayak, la observación de aves, los paseos en bote de vela, las caminatas y "snorkeling".

Las lagunas, humedales, comunidades coralinas, playas arenosas y demás lugares que se encuentran dentro del Estuario de la Bahía de San Juan, ofrecen el lugar idóneo para promover actividades donde los ciudadanos puedan interactuar con la naturaleza y a la vez educar sobre la conservación y restauración del Estuario.

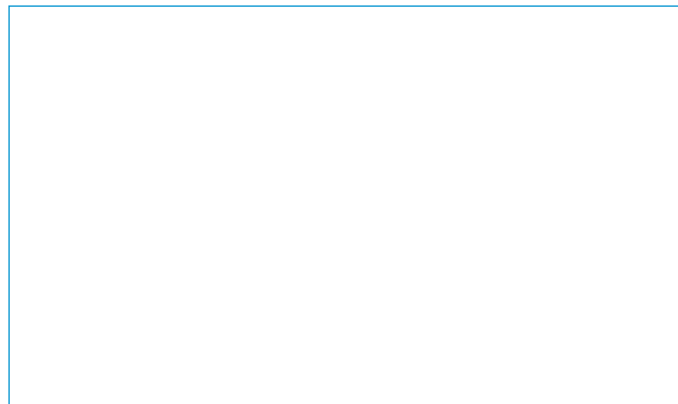
El área de educación, participación ciudadana y medios de comunicación del Programa del Estuario de la Bahía de San Juan (en adelante, el PEBSJ) trabaja con ciudadanos, organizaciones comunitarias, agencias gubernamentales y compañías privadas para llevar a cabo actividades educativas y de restauración.

Una de las acciones de nuestro plan de manejo es establecer un grupo de voluntarios a fin de proveer a los ciudadanos oportunidades efectivas de participación en proyectos de restauración. Con tal propósito comienza en el 2005 la iniciativa de Voluntarios del Programa del Estuario donde hoy día contamos con más de 1,000 voluntarios inscritos. Nuestros voluntarios incluyen personas de todas las edades y profesiones, desde niños hasta y personas jubiladas.

ALGUNOS PROYECTOS CON VOLUNTARIOS

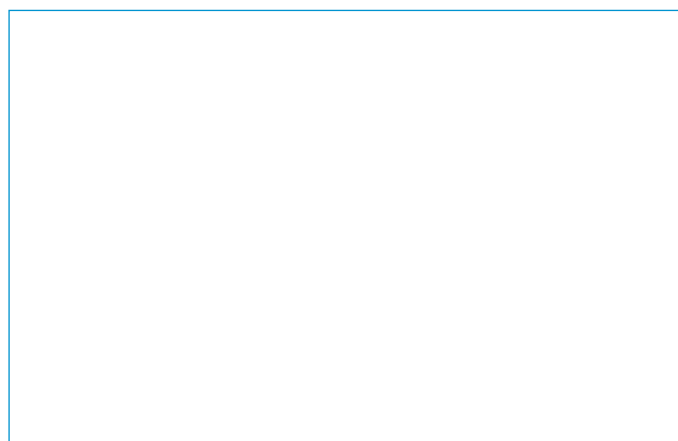
Campaña "A las alcantarillas, sólo agua de lluvia"

Con este lema desde el año 2008 voluntarios del PEBSJ se unen para colocar marcadores educativos con el propósito de evitar el desecho de contaminantes en las alcantarillas pluviales. Durante los eventos, se distribuye información educativa a los residentes y comercios para explicar la importancia de evitar derramar contaminantes en las alcantarillas pluviales. El trabajo de los voluntarios se complementó con una campaña publicitaria de servicio público. Este proyecto cuenta con la colaboración de compañías privadas y agencias gubernamentales, así como con el apoyo de nuestros voluntarios.



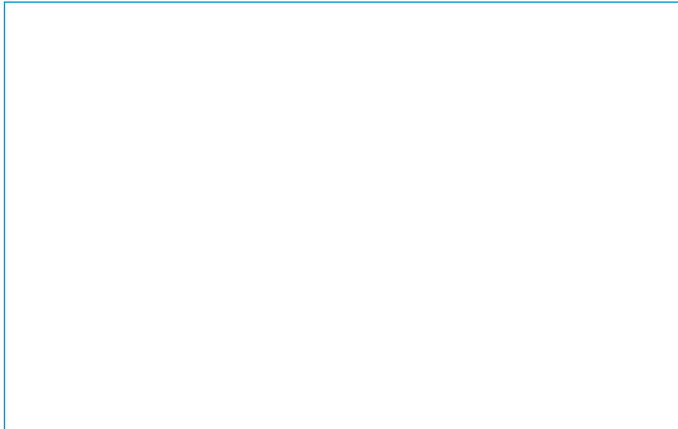
Vigilantes del Estuario: Programa escolar de monitoreo de calidad de agua

Cientos de estudiantes de escuelas públicas y colegios privados han participado desde el 2009 en este programa de monitoreo de calidad de agua. Durante un año, los grupos participantes van mensualmente a hacer pruebas de calidad de agua a diferentes cuerpos de agua del Estuario de la Bahía de San Juan. Cada escuela adopta un cuerpo de agua estuarino para monitorearlo mensualmente con sus estudiantes. Esta actividad se integra al currículo escolar o forma parte de las actividades de su Club de Ciencia.



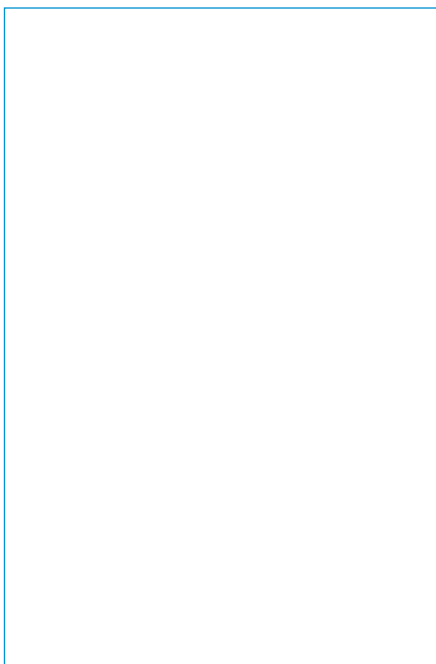
Programa de Monitoreo de Calidad de Agua

El PEBSJ ha certificado a más de 25 voluntarios en los protocolos y operaciones de campo aplicados al monitoreo mensual de calidad de agua en el Estuario de la Bahía de San Juan (Programa de Monitoreo de Calidad de Agua, Capítulo I de este informe). La participación de estos voluntarios nos permite ser más eficientes y rápidos en la toma de muestras y le sirve de experiencia de campo a los estudiantes participantes.



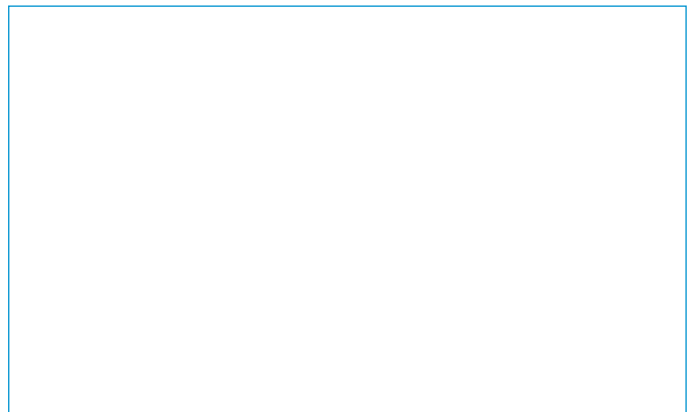
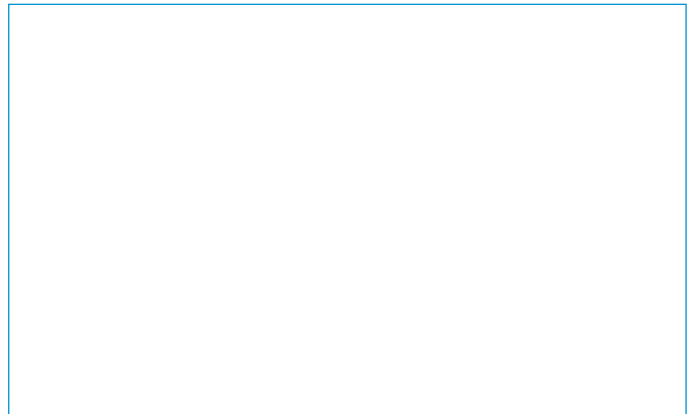
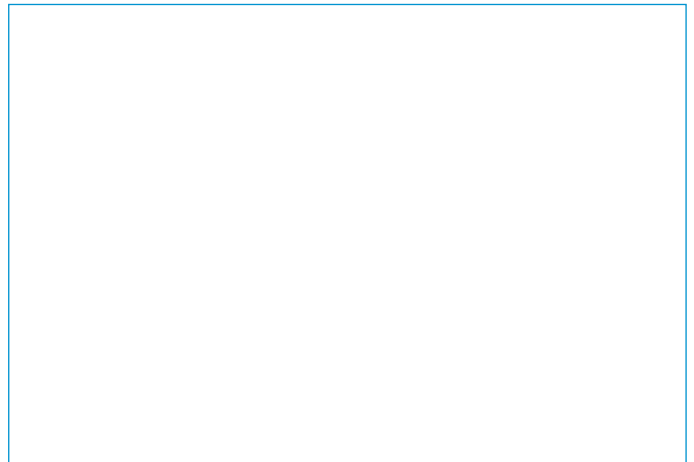
Día de Monitoreo de Calidad de Agua

En el 2009 el Gobernador de Puerto Rico firmó una Proclama que establece el 24 de abril como Día de Monitoreo de Calidad de Agua. El PEBSJ, en colaboración con la Junta de Calidad Ambiental de Puerto Rico, coordina monitoreos de calidad de agua en diferentes áreas de Puerto Rico para celebrar el día. La actividad se repetirá todos los años para promover la conservación y restauración de nuestros cuerpos de agua. Voluntarios de toda la isla participan anualmente monitoreando quebradas, ríos, lagos, lagunas y playas. Los resultados del monitoreo forman parte del banco de datos del World Water Monitoring Day (www.worldwatermonitoringday.org).



Actividades de Limpieza en la cuenca hidrográfica del Estuario

Gracias al esfuerzo de nuestros voluntarios anualmente recogemos miles de libras de basura que no llegan a nuestros cuerpos de agua. Una de las actividades de mayor impacto es la limpieza anual del islote La Esperanza en Cataño donde cientos de personas colaboran con nuestra organización para limpiar el islote. Durante el año, también el PEBSJ coordina otros eventos de recogido de basura en playas, ríos y parques en colaboración con escuelas, hoteles, organizaciones de base comunitaria y agencias de gobierno.





www.estuario.org

Preparado por el Dr. Jorge Bauzá
Asesor Científico del Programa del Estuario de la Bahía de San Juan
P.O. Box 9509 San Juan PR 00908

