

1 **Índice**

2 Objetivos.....2

3 Manejo adaptativo3

4 Parámetros de monitoreo.....3

5 Recolección de datos de monitoreo4

6 Indicadores ambientales4

7 Monitoreo de detección y eliminación de descargas ilegales (IDDE) del EBSJ5

8 Monitoreo de playas5

9 Frecuencia de recolección de datos de monitoreo6

10 Recolección semanal.....6

11 Recolección mensual.....6

12 Recolección del EIM.....7

13 Monitoreo de calidad del agua en tiempo real por telemetría remota (RTRT)8

14 Monitoreo del Programa de Indicadores Ambientales a Largo Plazo.....9

15 Uso e informes de los datos del monitoreo 10

16 Brechas en los datos de monitoreo 11

17 Fuentes de financiamiento existentes..... 11

18 Otro financiamiento requerido 12

19 Cronograma 12

20 Acciones a corto plazo (0-2 años)..... 12

21 Acciones a mediano plazo (2-3 años)..... 14

22 Acciones a largo plazo (3+ años) 16

23 Referencias..... 16

24

25

26 **Objetivos**

27 El monitoreo actual en el sistema del Estuario de la Bahía de San Juan (EBSJ) incluye la recopilación de datos
28 físicos, químicos y biológicos y los análisis subsiguientes de indicadores ambientales realizados por Estuario
29 y sus socios. Estas observaciones permiten establecer las condiciones actuales que pueden compararse
30 con mediciones pasadas para observar cambios a lo largo del tiempo. Además, se pueden identificar
31 posibles fuentes de contaminación y atenderlas por medio de las agencias y municipios correspondientes.
32 Estuario archiva los datos del monitoreo de la calidad del agua en una base de datos para estudios, así
33 como para la educación y capacitación de voluntarios (Estuario, 2020a). Durante la última década, Estuario
34 ha expandido y adaptado de manera incremental su programa de monitoreo en respuesta a las
35 aportaciones de las partes interesadas y de la comunidad recogidas a través de su plan estratégico. Las
36 mejoras del monitoreo, tales como la incorporación de sitios de muestreo específicos, ajustes en la
37 frecuencia de muestreo e inclusión de nuevos indicadores químicos y biológicos, se reflejan en la revisión
38 más reciente del Plan del Estuario.

39 El objetivo de este Plan de Monitoreo es evaluar el progreso hacia el logro de la visión de Estuario de
40 “ecosistemas tropicales prósperos, comunidades saludables y una economía vibrante”, estableciendo metas
41 de calidad del agua junto con otras metas medibles. El Plan de Monitoreo integra esfuerzos para evaluar el
42 estado de los sistemas ecológicos del estuario, la calidad de las aguas estuarinas y la calidad de las aguas de
43 las zonas altas de la cuenca que fluyen hacia el estuario. El Plan de Monitoreo se fundamenta en el
44 conocimiento adquirido a partir de esfuerzos de monitoreo anteriores, de modo que los ajustes al
45 programa continúen mejorando su efectividad.

46 Además, este Plan de Monitoreo sirve como herramienta para dar seguimiento a la implementación de las
47 acciones del Plan del Estuario, documentando cómo cambian las condiciones ambientales en respuesta a
48 las actividades de restauración, protección y manejo. Al medir la calidad del agua, la condición ecológica y
49 otros indicadores ambientales a lo largo del tiempo, el monitoreo ayuda a determinar si las acciones
50 implementadas están produciendo los resultados previstos y si se requieren ajustes adicionales. De esta
51 manera, el monitoreo proporciona un mecanismo directo de retroalimentación para evaluar el progreso,
52 identificar problemas emergentes y apoyar la toma de decisiones adaptativa durante la implementación del
53 Plan del Estuario.

54 El Plan de Monitoreo establece la dirección programática general para el manejo integrado de la cuenca
55 hidrográfica al definir las prioridades de monitoreo, los objetivos y las necesidades de datos a largo plazo
56 que respaldan la implementación del Plan del Estuario. En contraste, los Planes de Proyecto de
57 Aseguramiento de Calidad (QAPP, por sus siglas en inglés) proporcionan protocolos detallados de medición,
58 procedimientos de campo, requisitos de aseguramiento y control de calidad (QA/QC, por sus siglas en
59 inglés) y métodos de manejo de datos necesarios para llevar a cabo de manera consistente y confiable las
60 actividades individuales de monitoreo. En conjunto, el Plan de Monitoreo y los QAPP garantizan que el
61 programa de monitoreo esté estratégicamente alineado con las metas de restauración de Estuario y que
62 sea técnicamente sólido en la recopilación y uso de datos.

63 Este Plan de Monitoreo fortalece los esfuerzos actuales de monitoreo y establece nuevas acciones para
64 recopilar datos que apoyen la implementación del Plan del Estuario.

65 Manejo adaptativo

66 El manejo adaptativo es un principio fundamental del programa de monitoreo del EBSJ y de la
67 implementación del Plan del Estuario. Mediante el manejo adaptativo, los resultados del monitoreo se
68 utilizan no solo para documentar las condiciones ambientales, sino también para evaluar a lo largo del
69 tiempo la efectividad de las acciones de restauración, protección y manejo. Este enfoque permite a Estuario
70 realizar ajustes fundamentados a las estrategias, prioridades y métodos de monitoreo a medida que se
71 dispone de nueva información y cambian las condiciones del ecosistema. El monitoreo es especialmente
72 importante para la restauración de las poblaciones de plantas y animales, ya que ayuda a determinar si las
73 mejoras al hábitat están apoyando a las poblaciones y mejorando la biodiversidad.

74 El programa de monitoreo apoya el manejo adaptativo al proporcionar datos que pueden utilizarse para
75 evaluar si las acciones del Plan del Estuario están produciendo las respuestas ambientales previstas. El
76 progreso se medirá comparando los resultados del monitoreo a lo largo del tiempo y determinando cómo
77 responde el sistema estuarino a las acciones de restauración, las intervenciones de manejo y los factores de
78 estrés naturales. Cuando los indicadores muestren mejora, deterioro o cambios inesperados, las
79 actividades de monitoreo e implementación se ajustarán para atender mejor las condiciones emergentes y
80 apoyar las metas de restauración.

81 Asimismo, el manejo adaptativo garantiza que el programa de monitoreo permanezca sensible a las
82 cambiantes necesidades ecológicas, sociales y operacionales. A medida que el estuario cambia debido a
83 actividades de restauración, los efectos del clima, cambios en el uso del suelo, eventos climáticos extremos
84 u otros factores de estrés, los parámetros de monitoreo, la ubicación de las estaciones y la frecuencia de
85 muestreo se ajustarán para mejorar la capacidad de detectar tendencias y apoyar la toma de decisiones. De
86 esta manera, el Plan de Monitoreo sirve como un mecanismo de retroalimentación para el Plan del Estuario,
87 ayudando a Estuario a dar seguimiento al progreso de la implementación y a mejorar continuamente los
88 resultados del manejo.

89 Una expansión del área de estudio requeriría ampliar la cobertura espacial, incluyendo el establecimiento
90 de nuevas estaciones en tributarios, márgenes costeros y otras subcuencas. Con énfasis en la expansión del
91 área de estudio, será necesario evaluar la viabilidad de efectuar cambios en los esfuerzos de monitoreo
92 existentes para desarrollar un programa de monitoreo de calidad del agua a escala de cuenca capaz de
93 definir las condiciones actuales (línea base) y documentar cambios futuros que puedan ocurrir como
94 resultado de uno o más proyectos de infraestructura a gran escala que se anticipan en los próximos años.

95 Parámetros de monitoreo

96 Los parámetros de monitoreo de la calidad del agua recopilados en el campo incluyen temperatura,
97 oxígeno disuelto, pH, transparencia, conductividad específica, salinidad y porcentaje de saturación de
98 oxígeno. Además, se realizan pruebas y análisis de laboratorio para parámetros ambientales que incluyen
99 turbidez, profundidad de Secchi, aceites y grasas, nitrato y nitrito totales, fósforo total y bacterias
100 indicadoras de contaminación por heces fecales (enterococos). El informe semanal de monitoreo de la
101 calidad del agua presenta los niveles de enterococos (Estuario, 2020b). Asimismo, en el EBSJ se monitorean
102 y registran indicadores ambientales como macroinvertebrados bentónicos, cobertura porcentual de pastos
103 marinos, cobertura de arrecifes de coral, censos de peces y porcentaje de supervivencia de manglares
104 (Estuario, 2024a).

105 **Recolección de datos de monitoreo**

106 El monitoreo de la calidad del agua se realiza principalmente por voluntarios, también denominados
 107 ciudadanos científicos. Estuario ha capacitado aproximadamente a 400 ciudadanos científicos. Los
 108 voluntarios deben participar en una sesión de capacitación impartida por el líder de muestreo de campo o
 109 el gerente antes de recopilar datos. La sesión de capacitación consiste en aprender conceptos básicos de
 110 calidad del agua, la explicación de las metas y objetivos del programa de monitoreo, técnicas de monitoreo
 111 en campo y una visión general de las metas y objetivos del programa de monitoreo (Estuario, 2025a). Los
 112 voluntarios deben asistir a una capacitación adicional que incluye ejercicios prácticos de técnicas de
 113 muestreo de agua, preparación de muestras, calibración y despliegue de equipos, incubación de muestras
 114 (para el muestreo de enterococos), registro de datos de campo y lectura de resultados (Estuario, 2024a). El
 115 gerente del laboratorio es responsable de la preparación, recolección y preservación de las muestras, así
 116 como del mantenimiento de los equipos. Todos los datos se ingresan en una hoja de cálculo de Excel y
 117 luego son verificados por el gerente del programa QAPP (Estuario, 2025a). La tabla 1 resume la frecuencia
 118 de las capacitaciones, la recolección de datos, el QA/QC y la elaboración de informes (Estuario, 2024a).

119 **Indicadores ambientales**

120 Estuario desarrolló el Monitoreo de Indicadores Ambientales (EIM, por sus siglas en inglés) con base en la
 121 calidad del agua e indicadores vivientes. El EIM presenta tendencias relacionadas con los ecosistemas del
 122 EBSJ y proporciona información para visualizar y comprender mejor el progreso general hacia las metas de
 123 restauración. El EIM genera datos valiosos que ayudarán a medir y evaluar la efectividad de la
 124 implementación de las acciones (Estuario, 2024b).

125 Los voluntarios que forman parte de la iniciativa EIM deben participar en dos sesiones de capacitación
 126 dirigidas por el coordinador del QAPP/líder de campo. La capacitación consiste en una presentación sobre la
 127 identificación de especies que se utilizan como indicadores ambientales (macroinvertebrados, especies de
 128 arrecifes de coral y censo de peces), monitoreo de la calidad del agua, cobertura de área de herbazales
 129 marinos, cobertura de área de arrecifes de coral, tasa de supervivencia de plántulas en proyectos de
 130 siembra de mangle rojo, cobertura de las áreas de proyectos de siembra de mangles, toma de notas de
 131 campo y metas y objetivos del proyecto (Estuario, 2024b). Además, se ofrece capacitación adecuada para la
 132 identificación de macroinvertebrados bentónicos, incluyendo métodos de muestreo, clasificación preliminar
 133 de especímenes, manejo de especímenes, mediciones de corrientes, uso de equipos y la finalización de
 134 formularios de datos (Estuario, 2024b). La segunda capacitación consiste en ejercicios prácticos de campo,
 135 uso de equipos y registro de datos de campo, y debe llevarse a cabo no más tarde de dos semanas después
 136 de la primera sesión de capacitación.

137 **Tabla 1. Cronograma del Programa de Monitoreo de Calidad del Agua**

Tarea	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Capacitación de voluntarios	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-
Actualización de los procedimientos operativos estándar	X	-	X	-	X	-	X	-	X	-	-	X
Mediciones con la sonda Xylem EXO 1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Tarea	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Recolección y análisis de parámetros de calidad del agua	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Auditorías de aseguramiento y control de calidad (QA/QC)	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-
Datos disponibles al público	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

138 Nota: Las celdas sombreadas marcadas con una "X" indican en qué meses ocurre cada actividad del programa.

139 **Monitoreo de detección y eliminación de descargas ilegales (IDDE) del EBSJ**

140 El monitoreo IDDE sirve como un esfuerzo dirigido y rentable para apoyar la validación de las acciones del
 141 Plan del Estuario implementadas en el área de estudio relacionadas con mejoras de infraestructura y
 142 acciones correctivas para fuentes de contaminación en toda la cuenca hidrográfica.

143 Las nuevas acciones incluidas en la revisión del Plan del Estuario se enfocan en mejorar la infraestructura
 144 gris obsoleta, corregir descargas ilícitas, reducir las cargas de contaminantes y mejorar el desempeño de los
 145 sistemas de aguas pluviales y alcantarillado sanitario. El monitoreo IDDE valida la efectividad de estas
 146 acciones mediante monitoreo diagnóstico y evaluaciones de seguimiento realizadas antes y después de
 147 implementar las acciones correctivas.

148 Este monitoreo ayuda a Estuario a identificar fuentes persistentes de contaminación, apoyar la priorización
 149 de medidas correctivas futuras específicas e informar decisiones de manejo adaptativo asociadas con la
 150 implementación del Plan del Estuario. Asimismo, para aquellas circunstancias que requieren validar
 151 acciones de corrección de contaminación de infraestructura implementadas bajo marcos de cumplimiento
 152 regulatorio y decretos por consentimiento, el enfoque IDDE ofrece una solución sin necesidad de sistemas
 153 de monitoreo a gran escala ni que demanden muchos recursos.

154 El protocolo de campo IDDE fue desarrollado por el investigador principal, Dr. Gustavo Martínez, y su
 155 equipo de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Puerto Rico, en colaboración con Estuario
 156 (Universidad de Puerto Rico, 2026). Mientras que el estuario lidera el IDDE Task Force, un grupo
 157 multisectorial (agencias, municipios, academia y comunidad) de trabajo para general e implementar
 158 soluciones a los casos identificados por los protocolos de campo IDDE. El enfoque y metodología
 159 combinada recibió reconocimiento nacional mediante el U.S. Water Prize otorgado por la U.S. Water Alliance
 160 por impulsar soluciones de manejo de cuencas hidrográficas colaborativas y basadas en la ciencia.

161 **Monitoreo de playas**

162 El Departamento de Recursos Naturales y Ambientales de Puerto Rico (DRNA) lidera el Programa de
 163 Monitoreo de Playas y Notificación Pública, el cual se implementa para reducir el riesgo de enfermedades
 164 entre los bañistas cuando están expuestos a agua contaminada con bacterias (DRNA, 2025). El DRNA
 165 monitorea la bacteria enterococos para determinar si los resultados superan el estándar de 70 colonias por
 166 100 mililitros de agua, lo cual puede representar preocupaciones de salud pública. Los resultados se
 167 publican en el sitio web del DRNA (DRNA, 2025).

168 Frecuencia de recolección de datos de monitoreo

169 Los datos de monitoreo de la calidad del agua se recolectan con frecuencias semanal y mensual. Las
170 muestras se recogen en múltiples estaciones de monitoreo representativas de la cuenca hidrográfica y la
171 costa estuarina (Estuario, 2020).

172 Recolección semanal

173 La recolección semanal se enfoca en los conteos (colonias) de bacterias enterococos en la Reserva Natural
174 Estuarina Laguna del Condado y playas del litoral norte de la cuenca. La ubicación de cada estación se basó
175 en la proximidad a áreas recreativas, puntos de acceso de usuarios y puntos de descarga de aguas
176 pluviales. El muestreo semanal se realiza durante todo el año (Estuario, 2025a). Las muestras de agua se
177 recolectan durante las horas de la mañana (8:00 a. m. a 12:00 p. m.) los jueves y se analizan ese mismo
178 jueves, y los resultados se informan y publican el viernes siguiente. Los resultados de cada estación de
179 monitoreo se utilizan para informar el cumplimiento, es decir, si el área de playa o laguna es apta o no apta
180 para los bañistas (Estuario, 2020). El muestreo semanal de la calidad del agua se realiza en 12 estaciones
181 distribuidas entre playas y lagunas a lo largo de la costa de la cuenca del EBSJ (tabla 2, Estuario, 2020b). Los
182 datos semanales se publican en el sitio web de Estuario dentro de una semana de su recolección, y los
183 resultados se presentan en una tarjeta de evaluación, así como en un mapa y una tabla por estación.

184 Además, la Reserva Estuarina de la Laguna del Condado (CLER, por sus siglas en inglés) se muestrea dos
185 veces al año en dos estaciones de monitoreo (Estuario, 2025a).

186 **Tabla 2. Estaciones de muestreo semanal de la calidad del agua**

Estación	Estación ID	Latitud	Longitud
Parque Jaime Benítez	CLER 1	18.454931	-66.076625
Playa Baldorioty	CLER 2	18.458592	-66.085893
Playita Condado	CLER 3	18.461138	-66.082425
San Gerónimo	CLER 4	18.459907	-66.082197
Calle Aguadilla	CLER 5	18.457578	-66.076575
Ocean Park	-	18.454617	-66.055368
Pine Groove	-	18.443848	-66.012097
Vacía Talega	-	18.450621	-65.904719
Calle Nairn	-	18.45625	-66.064426
Calle Cervantes	-	18.456862	-66.068982
Calle Serra	-	18.457159	-66.067029
Escambrón	-	18.466885	-66.090948

187 Recolección mensual

188 La recolección mensual evalúa parámetros que no se analizan en las recopilaciones semanales, incluyendo
189 temperatura, oxígeno disuelto, turbidez, pH, transparencia, conductividad específica, salinidad y porcentaje
190 de saturación de oxígeno (Estuario, 2020a; U.S. Environmental Protection Agency [USEPA], 2022). Los datos
191 mensuales se recopilan durante una semana de cada mes, en horas de la mañana (8:00 a. m. a 12:00 p. m.)
192 (Estuario, 2024a). Existen 26 estaciones de monitoreo (tabla 3), las cuales están divididas en cuatro grupos
193 que se muestrean por día de recolección: (1) Bahía de San Jan y desembocadura Río Piedras, (2) Laguna San
194 José y Torrecillas, y (3) estaciones que se ocupan desde la orilla (Laguna Piñones) (Estuario, 2020). Para
195 cumplir con los requisitos de QA/QC, en una estación de muestreo seleccionada al azar se recoge una
196 muestra duplicada para enterococo fecal, fósforo total, nitrito y nitrato, y aceites y grasas (Estuario, 2024a).

197 Los datos mensuales se publican en el sitio web de Estuario dentro de los tres meses posteriores a la
 198 recolección y los resultados se presentan en un mapa y en una tabla por estación.

199

Tabla 3. Estaciones de monitoreo mensual del agua

Estación	Estación ID	Grupo	Latitud	Longitud
Bahía de San Juan 1	BSJ 1	Estaciones de la Bahía de San Juan	18.469567	-66.128554
Bahía de San Juan 2	BSJ 2	Estaciones de la Bahía de San Juan	18.453831	-66.122214
Bahía de San Juan 3	BSJ 3	Estaciones de la Bahía de San Juan	18.437665	-66.101517
Canal La Malaria	CM	Estaciones Terrestres	18.435714	-66.134322
Canal San Antonio	CSA	Estaciones de la Bahía de San Juan	18.459911	-66.092909
Canal Suárez 1	CS 1	Estaciones de las lagunas San José y Torrecilla	18.426339	-65.998859
Canal Suárez 2	CS 2	Estaciones de las lagunas San José y Torrecilla	18.432897	-65.98515
Caño Martín Peña	CMP	Estaciones de la Bahía de San Juan	18.432944	-66.060892
Embalse Las Curias*	Las Curias	Estaciones Río Piedras	18.342194	-66.050432
Escambrón Centro Pocita	ECP	No aplica	18° 27.915'	-66.05219
Laguna del Condado 1	LC 1	Estaciones de la Bahía de San Juan	18.457225	-66.076954
Laguna del Condado 2	LC 2	Estaciones de la Bahía de San Juan	18.461881	-66.084023
Laguna Los Corozos	LLC	Estaciones de las lagunas San José y Torrecilla	18.441579	-66.038588
Laguna Piñones	LP	Estaciones Terrestres	18.442242	-65.956453
Laguna San José 1	LSJ 1	Estaciones de las lagunas San José y Torrecilla	18.428583	-66.035523
Laguna San José 2	LSJ 2	Estaciones de las lagunas San José y Torrecilla	18.424755	-66.020036
Laguna Torrecilla 1	LT 1	Estaciones de las lagunas San José y Torrecilla	18.457653	-65.992482
Laguna Torrecilla 2	LT 2	Estaciones de las lagunas San José y Torrecilla	18.443649	-65.979654
Laguna Torrecilla 3	LT 3	Estaciones de las lagunas San José y Torrecilla	18.436139	-65.969095
Península La Esperanza	PLE	Estaciones Terrestres	18.448518	-66.135437
Quebrada Blasina	BC	Estaciones de las lagunas San José y Torrecilla	18.42305	-65.967683
Quebrada Juan Méndez	JM	Estaciones Terrestres	18.399418	-66.041855
Quebrada San Antón	QSA	Estaciones de las lagunas San José y Torrecilla	18.417355	-66.012213
Río Piedras 1	RP1	Estaciones Río Piedras	18.40244	-66.0651
Río Piedras 2	RP 2	Estaciones Río Piedras	18.388218	-66.058581
Río Piedras 3	RP 3	Estaciones Río Piedras	18.469567	-66.128554
Río Puerto Nuevo	RPN	Estaciones de las lagunas San José y Torrecilla	18.453831	-66.122214

200 *Estación adicional de monitoreo de playa seleccionada debido a su popularidad (Estuario, 2024a).

201 Recolección del EIM

202 Los macroinvertebrados bentónicos se monitorean trimestralmente en el río Piedras, el cual proporciona
 203 una representación efectiva de los ríos urbanos en la cuenca del EBSJ. Los sitios de muestreo se ubican
 204 junto al acueducto, seleccionados por su accesibilidad, su proximidad a las estaciones de monitoreo de
 205 calidad del agua de Estuario y la presencia de rápidos y pozas (Estuario, 2024b).

206 La cobertura de pastos marinos se monitorea trimestralmente por porcentaje de área cubierta, cuantificada
 207 en cinco cuadrantes (0, 5, 10, 15 y 20 metros) a lo largo de dos transectos paralelos a la costa en la Laguna
 208 del Condado. Además, el monitoreo de arrecifes de coral y el censo de peces se realiza cada cinco metros a
 209 lo largo de los transectos (Estuario, 2024b).

210 Los manglares son otro indicador ambiental incluido en el programa EIM en sitios de proyectos de
 211 restauración y siembra. Las plántulas de manglar se cuentan un año después de haber sido sembradas
 212 para calcular la tasa de supervivencia. También se calcula el área total afectada (en acres). Las áreas en las
 213 que se monitorea el porcentaje de supervivencia de manglares incluyen la Laguna del Condado, el Bosque
 214 Estatal de Piñones, Isla Verde y otras áreas afectadas a lo largo de la costa (Estuario, 2024). Más adelante, la
 215 tabla 7 muestra el cronograma de actividades del programa EIM (Estuario, 2024b).

216 **Monitoreo de calidad del agua en tiempo real por telemetría remota (RTRT)**

217 El monitoreo RTRT, mediante el uso de sondas, reduce la brecha de información y datos causada por
 218 eventos meteorológicos extremos y tormentas. El tiempo de respuesta mejora mediante un esquema
 219 continuo e ininterrumpido de registro de datos. El sistema de monitoreo RTRT consiste en seis estaciones
 220 de boyas con una serie de registradores de datos conectados, que recopilan datos continuos de calidad del
 221 agua (Estuario, 2025b). Este sistema de monitoreo proporciona datos complementarios al monitoreo
 222 mensual de la calidad del agua y datos adicionales sobre algas totales. Además, el monitoreo RTRT es
 223 especialmente útil para evaluar cambios en la calidad del agua después de huracanes, lluvias intensas,
 224 marejadas ciclónicas y otros eventos meteorológicos extremos, cuando las fluctuaciones de corto plazo en
 225 salinidad, temperatura, oxígeno disuelto, turbidez y otros parámetros podrían no ser detectadas por el
 226 muestreo rutinario.

227
 228 Los datos continuos de la red de boyas apoyan los esfuerzos de respuesta rápida y ayudan a caracterizar la
 229 reacción del sistema estuarino ante eventos extremos, mejorando la capacidad de evaluar los efectos a
 230 corto plazo y la recuperación a lo largo del tiempo. Las ubicaciones de muestreo para el monitoreo RTRT se
 231 presentan a continuación en las tablas 4 y 5, respectivamente (Estuario, 2021).

232 **Tabla 4. Ubicaciones de las boyas de monitoreo RTRT**

Cuerpo de agua	Latitud	Longitud
Laguna del Condado	18.458241	-66.080153
Sistema Río Piedras/Puerto Nuevo	18.424270	-66.080916
Caño Martín Peña	18.43058	-66.049217
Laguna San José	18.428341	-66.031895
Laguna La Torrecilla	18.444104	-65.981107
Quebrada Juan Méndez	18.425343	-66.040031

233 **Tabla 5. Cronograma de actividades propuesto para el programa de monitoreo RTRT**

Tarea	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Capacitación y certificación de voluntarios y ciudadanos científicos	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-
Ensamblaje de boyas RTRT y calibración de	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-

Tarea	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
sensores												
Despliegue de boyas RTRT	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-
Transmisión telemétrica de datos RTRT	X	X	X	X	-	-	X	X	X	X	X	X

234 Nota: Las celdas sombreadas marcadas con una "X" indican en qué meses ocurre cada actividad del programa.

235 Monitoreo del Programa de Indicadores Ambientales a Largo Plazo

236 Estuario desarrolló el Programa de Indicadores Ambientales a Largo Plazo con 25 estaciones de monitoreo
 237 en lugares con alta probabilidad de degradación ambiental. El monitoreo incluye contaminantes en
 238 sedimentos y en tejido de peces, ambos analizados para parámetros como metales pesados, plaguicidas,
 239 contaminantes orgánicos como bifenilos policlorados (PCB, por sus siglas en inglés) y compuestos orgánicos
 240 semivolátiles (SVOC, por sus siglas en inglés), así como contaminantes de preocupación emergente (CEC,
 241 por sus siglas en inglés) en el agua (Estuario, 2021). Este programa de indicadores se desarrolló a partir de
 242 una investigación realizada en el EBSJ en 2011, cuando se recolectaron y analizaron muestras de
 243 sedimentos y de tejido de peces y cangrejos para metales pesados, plaguicidas y CEC (Otero & Meléndez,
 244 2011). El Programa de Indicadores Ambientales a Largo Plazo está previsto para llevarse a cabo a intervalos
 245 de cada 10 años. La tabla 6 resume las ubicaciones de muestreo y los parámetros.

246 Tabla 6. Localización de muestreo para contaminantes en sedimentos y tejido de peces y cangrejos

Designación de la estación	Coordenadas (Latitud, Longitud)	Muestras de sedimentos	Muestras de tejidos
1SJB	N18.44589, W66.13032	X	X
2SJB	N18.44914, W66.11256	X	-
3SJCA	N18.45762, W66.11152	X	-
16SJB	N18.43692, W66.10102	X	-
15LC	N18.45701, W66.07754	X	-
18LC	N18.45531, W66.07632	X	X
5PC	N18.43851, W66.07987	X	X
4RPN	N18.42865, W66.07702	X	X
6MP	N18.43299, W66.06108	X	X
8SJC	N18.44131, W66.03891	X	X
7MPSJ	N18.42780, W66.03410	X	X
9Sj	N18.42428, W66.02023	X	-
17Sj	N18.41925, W66.01615	X	-
10CS	N18.42680, W65.99709	X	X
11LT	N18.43906, W65.98006	X	X
12BC	N18.45777, W65.99200	X	-
14PN	N18.44280, W65.95259	X	-
13PS	N18.43431, W65.95844	X	-

247 Tabla 7. Cronograma de actividades para el monitoreo de indicadores ambientales

Tarea	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Capacitación y certificación de		X				X				X		

Tarea	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
voluntarios y ciudadanos científicos												
Monitoreo de macroinvertebrados	X			X			X			X		
Monitoreo de yerbas marinas		X			X			X			X	
Censo de peces y monitoreo de arrecifes de coral		X			X			X			X	
Auditorías QA/QC							X					
Cálculo, análisis e informe del Índice de Indicadores de Datos Ambientales			X			X			X			X

248 Nota: Las celdas sombreadas marcadas con una "X" indican en qué meses ocurre cada actividad del programa.

249 **Uso e informes de los datos del monitoreo**

250 Las muestras de agua recolectadas cada jueves se analizan y los resultados se publican el viernes siguiente.
 251 Si los valores de la muestra exceden el criterio de calidad del agua del Valor de Acción para Playas (BAV, por
 252 sus siglas en inglés) para la bacteria enterococo de 70 colonias por 100 mililitros de agua, se notifica al
 253 público mediante un sistema de banderas publicado en el sitio web de Estuario, el cual permanece visible
 254 hasta el próximo evento de monitoreo la semana siguiente (Estuario, 2025a). Además, los resultados de las
 255 muestras semanales se publican en las redes sociales de Estuario, incluyendo X y Facebook (USEPA, 2022).
 256 El DRNA realiza e informa el muestreo semanal de la calidad del agua de playas en su página web de
 257 monitoreo de playas (2025). Un rótulo informativo en la CLER proporcionan detalles sobre el programa y
 258 exhiben una bandera de color para cada estación que representa las condiciones del agua: verde (los
 259 valores de enterococos cumplen con los criterios del BAV) o roja (los valores de enterococos no cumplen
 260 con los criterios del BAV) (Estuario, 2025a).

261 Las hojas de datos originales se digitalizan y luego se almacenan en la base de datos de Estuario por un
 262 período de cinco años (Estuario, 2024a). Los resultados del muestreo mensual y semanal de agua se
 263 publican en el sitio web de Estuario, con enlaces en la página web de calidad del agua (Estuario, 2020a). Se
 264 elabora un informe técnico final utilizando los datos del monitoreo de la calidad del agua, el cual incluye un
 265 resumen ejecutivo, introducción, métodos, informes de evaluación, tablas, gráficas, discusión de los
 266 resultados y conclusiones (Estuario, 2024a).

267 Los datos pueden ser utilizados por agencias reguladoras, el gobierno, la industria y personas interesadas
 268 en brindar apoyo financiero, así como para ayudar a crear nuevas estrategias para estimar la calidad del
 269 agua con mayor precisión (Estuario, 2025a). Otros usuarios de los datos incluyen al DRNA, la Autoridad de
 270 Acueductos y Alcantarillados (AAA), la academia y estudiantes, las partes interesadas, el Cuerpo de
 271 Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (USACE, por sus siglas en inglés) y los municipios (Estuario,
 272 2024a). De hecho, el DRNA utiliza los datos para generar los informes combinados de las secciones 305(b) y
 273 303(d) de la Ley Federal de Agua Limpia. Estos informes detallan el estado de calidad de los cuerpos de agua
 274 en Puerto Rico e identifican las cuencas prioritarias o afectadas que requieren un plan de recuperación.

275 Además, los datos generados mediante el monitoreo IDDE se utilizan para apoyar la identificación, el
 276 seguimiento y la validación de acciones correctivas de fuentes de contaminación y mejoras de

277 infraestructura en toda la cuenca hidrográfica. Los resultados y hallazgos se comparten con las agencias y
278 municipios participantes a través del Grupo de Trabajo IDDE interagencial. Este grupo de trabajo se reúne
279 periódicamente para analizar e implementar soluciones que eliminen descargas ilegales y no autorizadas de
280 aguas residuales en la cuenca del EBSJ.

281 **Brechas en los datos de monitoreo**

282 El programa de monitoreo presenta varias brechas importantes en los datos de monitoreo que deben
283 atenderse para apoyar una gestión y evaluación efectivas. Para desarrollar una comprensión de la calidad
284 del agua en todo el sistema estuarino, deben atenderse dos brechas principales de datos:

- 285 1. Comprender el flujo del agua entre las diferentes subcuencas y canales.
- 286 2. Cuantificar la morfología y la batimetría del sistema.

287 En muchas subcuencas falta el monitoreo hidrológico integrado con la calidad del agua. Se recomienda
288 instalar sensores continuos de nivel y caudal para calcular cargas y permitir la modelación y las predicciones
289 para el área de estudio ampliada propuesta. La implementación de un QAPP actualizado y revisado del
290 Índice de Cuencas Hidrográficas, la expansión de los estudios de evaluación bentónica, la creación de una
291 infraestructura centralizada de datos y de un tablero público, así como la incorporación del monitoreo
292 hidrológico, reducirán sustancialmente las brechas de monitoreo y mejorarán la capacidad del programa
293 para analizar tendencias, atribuir fuentes e informar la gestión.

294 La gestión de datos y el acceso público constituyen otras brechas críticas en los esfuerzos actuales de
295 monitoreo de la cuenca. Los datos de monitoreo permanecen fragmentados entre los distintos socios y
296 formatos, por lo que se necesita una base de datos integral, centralizada y de acceso público.

297 Para mejorar la comunicación con las partes interesadas y la utilidad de la información, se recomienda un
298 tablero GIS en tiempo real que integre los datos de los socios en una interfaz de mapa fácil de navegar, con
299 acceso interactivo a los resultados por estación y resúmenes en lenguaje sencillo. Estuario está gestionando
300 la contratación de un consultor de apoyo técnico para desarrollar esta herramienta y utilizará fondos
301 programáticos para el desarrollo de la base de datos y del tablero, así como para el fortalecimiento de
302 capacidades de los socios.

303 **Fuentes de financiamiento existentes**

304 Las actividades de monitoreo de Estuario cuentan actualmente con el apoyo de varias subvenciones
305 externas y fondos programáticos. El Programa de Monitoreo RTRT es financiado mediante la subvención del
306 Clean Water State Revolving Fund (SRF) C-72-250-03 (Estuario, 2025b). Además, Estuario recibió apoyo
307 mediante la subvención USEPA CE99206929-2, la cual estuvo vigente hasta el 30 de septiembre de 2025. El
308 personal de Estuario identificó otras fuentes actuales y potenciales de financiamiento, tales como
309 asignaciones programáticas continuas y otras oportunidades del SRF. Estas fuentes de financiamiento han
310 respaldado las actividades principales de monitoreo, pero se requerirá una inversión sostenida adicional
311 para expandir el programa en respuesta a las prioridades del Plan del Estuario y a las nuevas necesidades
312 de monitoreo. Para asegurar la continuidad y expansión de la capacidad de monitoreo, se recomienda
313 procurar estos fondos de forma proactiva mediante acciones a corto plazo tales como:

- 314 • Documentar y priorizar las necesidades programáticas recurrentes en los presupuestos de Estuario;
- 315 • Buscar extensiones o propuestas de seguimiento para subvenciones próximas a expirar o ya
316 vencidas;

- 317 • Solicitar subvenciones competitivas adicionales estatales y federales; e
- 318 • Incorporar los costos de monitoreo en acuerdos con socios y en los presupuestos de proyectos SRF,
- 319 según corresponda.

320 Diversificar las fuentes de financiamiento y establecer compromisos multianuales o memorandos de
 321 entendimiento con las agencias asociadas reducirá el riesgo de interrupciones en el monitoreo y respaldará
 322 las inversiones planificadas en el desarrollo de bases de datos, herramientas de tablero, monitoreo
 323 bentónico e hidrológico, y fortalecimiento de capacidades. En particular, la Junta de Directores ha
 324 identificado los CEC como una brecha prioritaria de datos, lo que requiere una estrategia de financiamiento
 325 específica que amplíe el muestreo, el análisis de laboratorio, el QA/QC y el apoyo técnico, y que alinee los
 326 recursos programáticos, las oportunidades de subvención y las contribuciones de los socios con las
 327 necesidades de monitoreo a largo plazo.

328 **Otro financiamiento requerido**

329 Se requerirá financiamiento adicional para apoyar el monitoreo de CEC, los estudios de hidrología y
 330 batimetría, la infraestructura de gestión de datos, el monitoreo de respuesta rápida y el monitoreo
 331 ecológico ampliado. Estas inversiones serán necesarias para fortalecer la implementación del Plan del
 332 Estuario y atender las brechas de datos clave identificadas en este Plan de Monitoreo y en las
 333 recomendaciones técnicas de apoyo. Sin financiamiento adicional, el monitoreo descrito en este plan no
 334 puede implementarse en su totalidad.

335 **Cronograma**

336 **Acciones a corto plazo (0-2 años)**

Actividades	Métricas	Hitos	Implementador(es) principal(es) y socio(s)	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Continuar el muestreo mensual de la calidad del agua y los esfuerzos de monitoreo actuales, a la vez que se implementan mejoras a corto plazo dirigidas, tales como la consolidación de conjuntos de datos para eliminar brechas e integrar informes y mapas en tiempo real para facilitar el acceso público.	Completar la estandarización de los procesos de QA/QC y metadatos.	Ampliar el muestreo bentónico y del índice de cuencas hidrográficas para llenar las brechas de indicadores biológicos.	Líderes: Estuario, DRNA Socios implementadores: municipios, academia	\$100,000 por año	USEPA, DRNA, municipios

Actividades	Métricas	Hitos	Implementador(es) principal(es) y socio(s)	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
2. Continuar los esfuerzos de monitoreo colaborativo de la calidad del agua y desarrollar, de ser necesario, un programa de monitoreo interino, incluyendo un QAPP para definir las funciones y responsabilidades de la Red Colaborativa de Monitoreo de la Calidad del Agua, la recolección, el manejo, el análisis y la interpretación de datos.	Completar el plan de proyecto y adoptarlo por la Red Colaborativa de Monitoreo de la Calidad del Agua.	Establecer protocolos consistentes para el muestreo de campo, el manejo de datos, el análisis y la elaboración de informes.	Líderes: Estuario (contratista Consultor de Apoyo Técnico) Socios implementadores: DRNA, municipios, academia	\$185,000 por año	USEPA, DRNA, municipios
3. Organizar una cumbre anual de datos donde se presente y discuta el informe anual y todos los investigadores y partes interesadas que trabajan en el EBSJ ofrezcan actualizaciones sobre proyectos en curso.	Realizar una cumbre anual de datos con la participación de investigadores y partes interesadas.	Compartir los resultados del monitoreo, destacar los proyectos en curso y apoyar la coordinación entre los socios del estuario.	Líderes: Estuario Socios implementadores: DRNA, municipios, academia	\$50,000 por año	USEPA, DRNA, municipios
4. Continuar el monitoreo de las poblaciones de aves, incluyendo los conteos navideños de aves y el análisis de datos para identificar tendencias.	Recopilar datos anuales de conteo de aves y completar el análisis de tendencias.	Mantener la participación anual en los conteos navideños de aves y utilizar los resultados para seguir las tendencias a largo plazo de las poblaciones de aves en el EBSJ.	Líderes: Estuario Socios implementadores: Servicio Forestal de EE. UU., Sierra Club, Fideicomiso de Conservación de Puerto Rico, Sociedad Ornitológica de Puerto Rico, eBirds (Cornell Lab)	\$10,000	USEPA, DRNA
5. Evaluar las ubicaciones de muestreo de la calidad del agua e identificar estaciones adicionales de ser necesario.	Revisar las ubicaciones de muestreo existentes e identificar estaciones adicionales según sea necesario.	Evaluar la red actual de monitoreo y ajustar las ubicaciones de muestreo para mejorar la cobertura espacial y la confiabilidad de los datos.	Líderes: Estuario, DRNA Socios implementadores: municipios, academia	\$150,000	USEPA, DRNA
6. Desarrollar un informe anual de monitoreo con los datos recopilados durante el año a partir del muestreo mensual de calidad del agua y del EIM.	Circular ampliamente los informes anuales de monitoreo en el EBSJ.	Sintetizar las observaciones anuales de eventos atmosféricos y marítimos reflejadas en los esfuerzos de monitoreo.	Líderes: Estuario (Consultor de Apoyo Técnico) Socios implementadores: DRNA, municipios, academia	\$75,000 por año	USEPA

Actividades	Métricas	Hitos	Implementador(es) principal(es) y socio(s)	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
7. Compartir información y colaborar para desarrollar el Plan de Monitoreo Adaptativo para el Proyecto de Restauración Ecosistémica del Caño Martín Peña.	Desarrollar el Plan de Monitoreo Adaptativo.	Mantener la coordinación entre los socios para desarrollar un plan de monitoreo adaptativo eficaz para el Proyecto de Restauración Ecosistémica del Caño Martín Peña.	Líderes: USACE, DRNA, ENLACE Socios implementadores: Estuario, academia	\$100,000	USEPA, DRNA, ENLACE

337

Acciones a mediano plazo (2-3 años)

Actividades	Métricas	Hitos	Implementador(es) principal(es) y socio(s)	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Desarrollar metas de restauración y/o protección para recursos vivos seleccionados, con sus metas asociadas de calidad del agua.	Identificar y dar seguimiento a las metas de restauración para los recursos seleccionados.	Establecer metas de recursos y de calidad del agua que respalden las prioridades de restauración y protección a largo plazo para el EBSJ.	Líderes: Estuario (contratista Consultor de Apoyo Técnico) Socios implementadores: DRNA, municipios, academia	\$200,000	DRNA
2. Desarrollar herramientas de informe para las metas de recursos vivos y las metas asociadas de calidad del agua.	Desarrollar y utilizar herramientas de informe para los recursos vivos y las metas asociadas de calidad del agua.	Crear herramientas de informe que comuniquen claramente el progreso hacia las metas de recursos vivos y las metas relacionadas de calidad del agua.	Líderes: Estuario (contratista Consultor de Apoyo Técnico) Socios implementadores: DRNA, Estuario, academia	\$100,000	DRNA
3. Desarrollar un sistema de manejo de datos para todas las actividades de monitoreo del EBSJ.	Desarrollar y utilizar un sistema de manejo de datos para todas las actividades de monitoreo del EBSJ.	Establecer un sistema centralizado de manejo de datos que apoye el almacenamiento, acceso y uso consistentes de los datos de monitoreo del EBSJ.	Líderes: Estuario (contratista Consultor de Apoyo Técnico) Socios implementadores: DRNA, municipios, academia	\$100,000 para desarrollo; \$25,000 por año para mantenimiento	USEPA, DRNA
4. Desarrollar un estudio para el monitoreo del sustrato bentónico que identifique el diseño de muestreo y medición, y que aborde cómo el análisis y monitoreo de los sedimentos contribuyen a la restauración del EBSJ.	Desarrollar un plan de monitoreo del sustrato bentónico.	Establecer un estudio que guíe el monitoreo y análisis de sedimentos para informar las prioridades de restauración del estuario.	Líderes: Estuario Socios implementadores: DRNA, academia, Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA, por sus siglas en inglés)	\$150,000	NOAA

Actividades	Métricas	Hitos	Implementador(es) principal(es) y socio(s)	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
5. Registrar mediciones del nivel del agua en ubicaciones clave del EBSJ.	Recopilar mediciones regulares del nivel del agua en ubicaciones clave y documentar los resultados/análisis.	Mantener mediciones regulares del nivel del agua en ubicaciones clave del EBSJ para apoyar el monitoreo hidrológico y la evaluación de las condiciones del estuario.	Líderes: DRNA, U.S. Geological Survey (USGS) Socios implementadores: academia	Por determinar (TBD) según el número de estaciones de monitoreo del nivel del agua	DRNA, USEPA
6. Instalar medidores de caudal registradores en los cuerpos de agua que descargan agua dulce desde la cuenca hacia el sistema estuarino.	Incorporar medidores de caudal registradores en los puntos prioritarios de descarga de agua dulce y documentar los resultados/análisis.	Establecer el monitoreo de caudal en puntos clave de descarga para mejorar la comprensión de los aportes de agua dulce al sistema estuarino.	Líderes: DRNA, USGS Socios implementadores: academia	TBD según el número de estaciones de medidores de caudal	DRNA, USEPA
7. Realizar una evaluación batimétrica del estuario y repetirla cada cinco años para evaluar la magnitud del cambio y decidir futuras evaluaciones de la batimetría.	Completar una evaluación batimétrica en un ciclo de cinco años y documentar los resultados/análisis.	Utilizar evaluaciones batimétricas para rastrear los cambios a lo largo del tiempo y orientar futuras necesidades de monitoreo.	Líderes: USACE Socios implementadores: USGS, NOAA, DRNA	\$500,000	USACE, NOAA
8. Realizar sobrevuelos a intervalos de cinco años para evaluar la cobertura terrestre y submarina e integrarlos en un sistema GIS.	Completar evaluaciones aéreas y de hábitat bentónico cada cinco años e integrarlas en GIS.	Utilizar evaluaciones de cobertura terrestre y hábitat bentónico para dar seguimiento a los cambios ecológicos a lo largo del tiempo y apoyar la toma de decisiones de manejo del estuario.	Líderes: Servicio Forestal de EE. UU., USGS Socios implementadores: DRNA, academia	\$350,000	USEPA, DRNA, municipios, USACE
9. Proporcionar un monitoreo integral de las poblaciones de aves en el EBSJ.	Realizar un monitoreo integral de las poblaciones de aves en el EBSJ y documentar los resultados/análisis.	Mantener el monitoreo continuo de aves para seguir las tendencias de las poblaciones aviares e informar el manejo y la restauración del estuario.	Líderes: Servicio Forestal de EE. UU., USGS Socios implementadores: DRNA, academia, Sociedad Audubon, organizaciones locales	\$150,000 por año	Servicio Forestal de EE. UU., USGS

338

Acciones a largo plazo (3+ años)

Actividades	Métricas	Hitos	Implementador(es) principal(es) y socio(s)	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Completar el diseño de los esfuerzos de monitoreo a largo plazo sobre contaminantes en tejidos de peces y sedimentos.	Implementar el diseño de monitoreo a largo plazo y documentar los resultados/análisis.	Finalizar un marco de monitoreo a largo plazo que apoye la implementación consistente y la evaluación de las condiciones del estuario a lo largo del tiempo.	Líderes: Estuario, DRNA Socios implementadores: municipios, academia	\$150,000	USEPA, DRNA, municipios
2. Repetir cada diez años los inventarios cuantitativos de bosques a escala de todo el estuario para monitorear la condición forestal y el nivel de servicios a la sociedad.	Completar el inventario cuantitativo de bosques a escala de todo el estuario y documentar los resultados/análisis.	Utilizar el inventario forestal decenal para evaluar las condiciones, seguir los cambios a lo largo del tiempo y valorar los servicios ecosistémicos.	Líderes: Servicio Forestal de EE. UU. Socios implementadores: DRNA, municipios, academia	\$100,000	Servicio Forestal de EE. UU.
3. Evaluar cuántas plataformas remotas de monitoreo de calidad del agua es necesario añadir para complementar el muestreo durante eventos extremos y cómo un plan de respuesta rápida integra los resultados generados por estas plataformas para caracterizar la respuesta general del sistema estuarino.	Integrar plataformas remotas de monitoreo de calidad del agua en un plan de respuesta rápida.	Determinar la capacidad adicional de monitoreo necesaria para apoyar la respuesta a eventos extremos y mejorar la caracterización de las condiciones del estuario durante y después de eventos de mayor intensidad.	Líderes: Estuario, DRNA Socios implementadores: municipios, academia	\$250,000	USEPA, DRNA, municipios
4. Continuar utilizando imágenes satelitales y GIS para monitorear la cobertura de los sistemas ecológicos del EBSJ.	Identificar brechas en los datos para monitorear mejor los sistemas ecológicos del EBSJ.	Utilizar las imágenes y recursos GIS disponibles para monitorear los procesos actuales en los sistemas ecológicos del EBSJ.	Líderes: Estuario, DRNA Socios implementadores: municipios, academia, Servicio Forestal de EE. UU.	\$100,000	USEPA, DRNA, municipios, Servicio Forestal de EE. UU.

339

Referencias

340

DRNA. 2025. Programa de Monitoría de Playas. <https://www.drna.pr.gov/programas-y-proyectos/monitoria-de-playas/programa-de-monitoria-de-playas/>.

341

342

Estuario. 2020a. Calidad del agua. https://estuario.org/calidad-de-agua/#calidad_agua_semanaln.

343

Estuario. 2020b. Monitoreo de playas y lagunas.

344

https://estuario.org/enterococcus/?wdt_column_filter%5BFecha%5D=.

- 345 Estuario. 2021. Plan de Proyecto de Aseguramiento de Calidad para la Actualización de los Indicadores
346 Ambientales Estuarinos para el Estuario de la Bahía de San Juan: Evaluación de contaminantes en
347 sedimentos y tejido de peces, y contaminantes de preocupación emergente en aguas superficiales.
- 348 Estuario. 2022a. Plan Estratégico de la Corporación para la Conservación del Estuario de la Bahía de San
349 Juan 2022–2027. Acción Estratégica n.º 6: Desarrollar metas e indicadores ambientales, y herramientas
350 asociadas de monitoreo y reporte. 26 de septiembre de 2022.
- 351 Estuario. 2022b. Proyecto de Desarrollo del Plan Estratégico de Estuario, Tarea 2c. Hallazgos preliminares y
352 sugerencias sobre los métodos actuales para medir, dar seguimiento e informar el progreso hacia las metas
353 ambientales de Estuario. 4 de marzo de 2022.
- 354 Estuario. 2024a. Plan de Proyecto de Aseguramiento de Calidad para el Programa de Monitoreo Voluntario
355 de la Calidad del Agua del Estuario de la Bahía de San Juan.
- 356 Estuario. 2024b. Plan de Proyecto de Aseguramiento de Calidad para el Monitoreo de Indicadores
357 Ambientales del Estuario de la Bahía de San Juan.
- 358 Estuario. 2025a. Plan de Proyecto de Aseguramiento de Calidad para la Reserva Estuarina de la Laguna del
359 Condado y el proyecto de monitoreo costero de *Enterococcus*.
- 360 Estuario. 2025b. Plan de Proyecto de Aseguramiento de Calidad para el Monitoreo de Calidad del Agua en
361 Tiempo Real por Telemetría Remota (RTRT).
- 362 Estuario. 2025c. Día de la Calidad del Agua. <https://estuario.org/diadelcalidaddeagua/>.
- 363 Otero, E., Meléndez, A. 2011. Indicadores ambientales estuarinos para el Estuario de la Bahía de San Juan:
364 Evaluación de contaminantes en sedimentos y tejido de peces. [https://estuario.org/estuarine-
365 environmental-indicators-for-the-san-juan-bay-estuary-assessment-of-sediment-and-fish-tissue-
366 contaminants/](https://estuario.org/estuarine-environmental-indicators-for-the-san-juan-bay-estuary-assessment-of-sediment-and-fish-tissue-contaminants/).
- 367 Universidad de Puerto Rico, Colegio de Agricultura y Ciencias Mecánicas, Departamento de Ciencias
368 Agroambientales. 2026. Implementación de una estrategia de restauración de la calidad del agua en el
369 Estuario de la Bahía de San Juan y en la zona contribuyente del estuario del Río Grande de Loíza (aguas
370 abajo de la represa) (Fase II). Informe de progreso que abarca el período del 1 de noviembre de 2019 al 31
371 de marzo de 2026. Preparado para la Corporación para la Conservación del Estuario de la Bahía de San Juan
372 bajo el contrato EBSJ n.º C-72-250-03. Abril de 2026.
- 373 USEPA. 2022. <https://storymaps.arcgis.com/stories/851e3c49e8584f9aa7a0c8b516299a6e>.

1 **Table of Contents**

2 Objectives2

3 Adaptive Management2

4 Monitoring Data Parameters3

5 Monitoring Data Collection3

6 Environmental Indicators4

7 SJBE Illegal Discharges Detection and Elimination (IDDE) Monitoring4

8 Beach Monitoring5

9 Monitoring Data Collection Frequency.....5

10 Weekly Collection5

11 Monthly Collection6

12 EIM Collection7

13 Real-Time Remote Telemetric (RTRT) Water Quality Monitoring.....7

14 Long-Term Environmental Indicator Program Monitoring8

15 Monitoring Data Use and Reporting.....9

16 Monitoring Data Gaps 10

17 Existing Sources of Funding 10

18 Additional Funding Required 11

19 Timeframe 11

20 Short-term Actions (0-2 years)..... 11

21 Medium-Term Actions (2-3 years) 12

22 Long-Term Actions (3+ years) 14

23 References..... 14

24

25

26 Objectives

27 Estuario’s water quality monitoring evaluates physical and chemical parameters within the San Juan Bay
28 Estuary (SJBE) system. Current monitoring within the estuary includes data collection and subsequent
29 analyses of environmental indicators completed by Estuario and its partners, which provides current
30 conditions that can be compared with past measurements to observe changes through time. Additionally,
31 possible contamination sources can be identified and addressed through the proper agencies. Estuario
32 archives water quality monitoring data within a database for studies, as well as for education and training of
33 volunteers (Estuario, 2020a). Over the past decade, Estuario has incrementally expanded and adapted its
34 monitoring program in response to stakeholder and community input captured through its strategic plan.
35 Monitoring enhancements, such as the addition of targeted sampling sites, adjustments to sampling
36 frequency, and incorporation of new chemical and biological indicators are most recently reflected in the
37 Estuario Plan revision.

38 The objective of this Monitoring Plan is to assess progress toward achieving the Estuario’s vision of “thriving
39 tropical ecosystems, healthy communities and a vibrant economy,” by setting water quality targets along
40 with other measurable goals. The Monitoring Plan integrates efforts to assess the state of the ecological
41 systems of the estuary, quality of estuarine waters, and quality of upland waters flowing into the estuary.
42 The Monitoring Plan builds upon acquired knowledge from past monitoring efforts so that adjustments to
43 the program continue to improve the program’s effectiveness.

44 This Monitoring Plan also serves as a tool for tracking the implementation of the Estuario Plan actions by
45 documenting how environmental conditions change in response to restoration, protection, and
46 management activities. By measuring water quality, ecological condition, and other environmental
47 indicators over time, the monitoring helps determine whether implemented actions are producing the
48 intended outcomes and whether additional adjustments are needed. In this way, monitoring provides a
49 direct feedback mechanism for evaluating progress, identifying emerging issues, and supporting adaptive
50 decision-making throughout Estuario Plan implementation.

51 The Monitoring Plan establishes the overall programmatic direction for integrated watershed management
52 by defining the monitoring priorities, objectives, and long-term data needs that support Estuario Plan
53 implementation. In contrast, the Quality Assurance Project Plans (QAPPs) provide detailed measurement
54 protocols, field procedures, quality assurance and quality control (QA/QC) requirements, and data handling
55 methods needed to conduct individual monitoring activities consistently and reliably. Together, the
56 Monitoring Plan and the QAPPs ensure that the monitoring program is both strategically aligned with
57 Estuario’s restoration goals and technically sound in its collection and use of data.

58 This Monitoring Plan strengthens current monitoring efforts and establishes new actions to collect data that
59 supports the implementation of the Estuario Plan.

60 Adaptive Management

61 Adaptive management is a core principle of the SJBE monitoring program and Estuario Plan
62 implementation. Through adaptive management, monitoring results are used not only to document
63 environmental conditions, but also to evaluate the effectiveness of restoration, protection, and
64 management actions over time. This approach allows Estuario to make informed adjustments to strategies,

65 priorities, and monitoring methods as new information becomes available and as ecosystem conditions
66 change. Monitoring is especially important for restoring plant and animal populations because it helps
67 determine whether habitat improvements are supporting populations and improving biodiversity.

68 The monitoring program supports adaptive management by providing data that can be used to assess
69 whether Estuario Plan actions are producing the intended environmental responses. Progress will be
70 measured by comparing monitoring results over time and determining how the estuarine system responds
71 to restoration actions, management interventions, and natural stressors. When indicators show
72 improvement, decline, or unexpected change, monitoring and implementation efforts will be refined to
73 better address emerging conditions and support restoration goals.

74 Adaptive management also ensures that the monitoring program remains responsive to evolving ecological,
75 social, and operational needs. As the estuary changes due to restoration activities, climate effects, land use
76 changes, extreme weather, or other stressors, monitoring parameters, station locations, and collection
77 frequencies will be adjusted to improve the ability to detect trends and support decision-making. In this
78 way, the Monitoring Plan serves as a feedback mechanism for the Estuario Plan, helping Estuario track
79 implementation progress and continuously improve management outcomes.

80 An expansion of the study area would require broadening spatial coverage, including additional stations in
81 tributaries, coastal margins, and additional subwatersheds. With an emphasis on expanding the current
82 study area, changes in current monitoring efforts will need to be assessed for feasibility to develop a
83 watershed-scale water quality monitoring program that is capable of defining current (baseline) conditions
84 and documenting future changes that may occur as a result of one or more large-scale infrastructure
85 projects that are anticipated in coming years.

86 **Monitoring Data Parameters**

87 The water quality monitoring data parameters collected in the field include temperature, dissolved oxygen,
88 pH, transparency, specific conductivity, salinity, and percent oxygen saturation. Further lab testing and
89 analyses are conducted for environmental parameters including turbidity, Secchi depth, oils and fats, nitrate
90 and nitrite (total), total phosphorus, and fecal *Enterococcus* (fecal coliform). Weekly water quality monitoring
91 reports *Enterococcus* levels (Estuario, 2020b). Additionally, environmental indicators are monitored and
92 recorded within the SJBE including benthic macroinvertebrates, seagrass percent area cover, coral reef area
93 cover, fish censuses, and mangrove percent survival rate (Estuario, 2024a).

94 **Monitoring Data Collection**

95 Water quality monitoring is primarily performed by volunteers, also referred to as citizen scientists. There
96 are approximately 400 citizen scientists trained by Estuario. Volunteers must participate in one training
97 session conducted by the field sampling leader and/or the manager before collecting data. The training
98 section consists of learning basic water quality concepts, explanation of the goals and objectives of the
99 monitoring program, field monitoring techniques, and overview of goals and objectives of the monitoring
100 (Estuario, 2025a). The volunteers must attend an additional training session that includes hands-on
101 exercises of water sampling techniques, sample preparations, equipment calibration and deployment,
102 sample incubation (for *Enterococcus* sampling), field data recording, and results reading (Estuario, 2024a).
103 The laboratory manager is responsible for sample preparation, collection, and preservation, as well as
104 maintaining equipment. All data are entered into an Excel spreadsheet and then verified by the QAPP

105 program manager (Estuario, 2025a). Table 1 summarizes the frequency of trainings, data collection, QA/QC,
 106 and reporting (Estuario, 2024a).

107 **Environmental Indicators**

108 Estuario developed Environmental Indicators Monitoring (EIM) based on water quality and environmental
 109 indicators. EIM presents trends related to SJBE ecosystems and provides information to better visualize and
 110 understand overall progress toward restoration goals. EIM produces valuable data that will help measure
 111 and evaluate the effectiveness of action implementation (Estuario, 2024b).

112 Volunteers who are part of the EIM initiative must participate in two training sessions conducted by the
 113 QAPP coordinator/field leader. The training consists of a lecture about environmental indicator’s species
 114 identification (macroinvertebrates, coral reef species, and fish census), water quality monitoring, seagrass
 115 percent area cover, coral reef percent area cover, mangroves planting project site seedling survival rate,
 116 mangroves planting project area cover, field note taking, and goals and objectives of the project (Estuario,
 117 2024b). Additionally, proper training is conducted for benthic macroinvertebrates identification including
 118 sampling methods, preliminary specimen sorting, specimen handling, stream measurements, equipment
 119 usage, and data form completion (Estuario, 2024b). The second training consists of hands-on field exercise
 120 techniques, equipment use, and field data recording, which must be conducted no more than two weeks
 121 after the first training session.

122 **Table 1. Schedule for the Water Quality Monitoring Program**

Task	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
Volunteer training	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-
Standard operating procedures refresh	X	-	X	-	X	-	X	-	X	-	-	X
Xylem EXO 1 sonde measurements	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Water quality parameters collection and analysis	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
QA/QC audits	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-
Data available to the public	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

123 Note: Shaded cells marked with an “X” note which months each activity in the program occurs.

124 **SJBE Illegal Discharges Detection and Elimination (IDDE) Monitoring**

125 The IDDE monitoring serves as a targeted and cost-effective effort to support validation of Estuario Plan
 126 actions implemented within the study area related to infrastructure improvements and pollution source
 127 corrective actions throughout the watershed.

128 The new actions included in the Estuario Plan revision focus on improving aging gray infrastructure,
 129 correcting illicit discharges, reducing pollutant loads, and improving stormwater and sanitary sewer system
 130 performance. The IDDE monitoring validates the effectiveness of these actions through diagnostic
 131 monitoring and follow-up assessments conducted before and after corrective actions are implemented.

132 This monitoring helps Estuario identify persistent contamination sources, support prioritization of specific
 133 future corrective measures, and inform adaptive management decisions associated with Estuario Plan
 134 implementation. Also, for those circumstances that require validating infrastructure pollution correction

135 actions implemented under regulatory compliance and Consent Decree frameworks, the IDDE approach
 136 brings a solution without requiring large-scale or resource-intensive monitoring systems.

137 The IDDE protocol was developed by Principal Investigator Dr. Gustavo Martínez and his team from the
 138 University of Puerto Rico College of Agricultural Science in collaboration with Estuario (University of Puerto
 139 Rico, 2026). The methodology received national recognition through the U.S. Water Prize awarded by the
 140 U.S. Water Alliance for advancing collaborative and science-based watershed management solutions.

141 **Beach Monitoring**

142 The Puerto Rico Department of Natural and Environmental Resources (DNER) leads the Beach Monitoring
 143 and Public Notification Program, which is implemented to reduce the risk of illness among beachgoers when
 144 they are exposed to water contaminated with bacteria (DNER, 2025). DNER monitors for enterococci
 145 bacteria to determine if the results are greater than the standard of 70 colonies per 100 milliliters of water
 146 that can cause public health concerns. Results are posted on the DNER website (DNER, 2025).

147 **Monitoring Data Collection Frequency**

148 Water quality monitoring data are collected at weekly and monthly frequencies. Samples are collected from
 149 multiple monitoring stations across the watershed that are representative of the hydrologic basin and
 150 estuarine coast (Estuario 2020).

151 **Weekly Collection**

152 The weekly collection is focused on *Enterococcus* bacteria levels at beaches and lagoons spanning the
 153 northeastern coast. The location of each station was based on the proximity to recreational areas, user
 154 entry points, and stormwater discharges points. Weekly sampling is performed year-round (Estuario,
 155 2025a). The water samples are collected during the morning hours (8:00 AM to 12:00 PM) on Thursday and
 156 then analyzed on the same Thursday with results reported and posted the following Friday. Results for each
 157 monitoring station are also used to report compliance as to whether or not the beach or lagoon area is
 158 suitable for swimmers (Estuario 2020). Weekly water quality monitoring sampling is conducted at 12 varying
 159 stations at beaches and lagoons across the coast of the SJBE watershed (Table 2, Estuario, 2020b). The
 160 weekly data are posted to the Estuario website within one week of collection with results on a scorecard as
 161 well as a map and table by station.

162 In addition, the Condado Lagoon Estuarine Reserve (CLER) is sampled two times per year at two monitoring
 163 stations (Estuario, 2025a).

164 **Table 2. Weekly Water Sampling Monitoring Stations**

Station	Station ID	Latitude	Longitude
Parque Jaime Benítez	CLER 1	18.454931	-66.076625
Playa Baldorioty	CLER 2	18.458592	-66.085893
Playita Condado	CLER 3	18.461138	-66.082425
San Gerónimo	CLER 4	18.459907	-66.082197
Calle Aguadilla	CLER 5	18.457578	-66.076575
Ocean Park	-	18.454617	-66.055368
Pine Groove	-	18.443848	-66.012097
Vacía Talega	-	18.450621	-65.904719

Station	Station ID	Latitude	Longitude
Calle Nairn	-	18.45625	-66.064426
Calle Cervantes	-	18.456862	-66.068982
Calle Serra	-	18.457159	-66.067029
Escambrón	-	18.466885	-66.090948

165 **Monthly Collection**

166 Monthly collection evaluates parameters not assessed in the weekly collections, including temperature,
 167 dissolved oxygen, haziness, pH, transparency, specific conductivity, salinity, and percent oxygen saturation
 168 (Estuario 2020a). U.S. Environmental Protection Agency [USEPA], 2022). The monthly data are collected
 169 within one week each month during the morning hours (8:00 AM to 12:00 PM) (Estuario, 2024a). There are
 170 26 monitoring stations (Table 3), which are partitioned into four groups that are sampled per collection day:
 171 Rio Piedras, SJBE, Laguna San José and Torrecillas, and ground stations (Estuario 2020). A duplicate sample
 172 for fecal *Enterococcus*, total phosphorus, nitrite and nitrate, and oil and grease are each collected at one
 173 sampling station at random for QA/QC compliance (Estuario, 2024a). The monthly data are posted to the
 174 Estuario website within three months of collection with results on a map and in a table by station.

175 **Table 3. Monthly Water Sampling Monitoring Stations**

Station	Station ID	Group	Latitude	Longitude
Bahía de San Juan 1	BSJ 1	San Juan Bay Stations	18.469567	-66.128554
Bahía de San Juan 2	BSJ 2	San Juan Bay Stations	18.453831	-66.122214
Bahía de San Juan 3	BSJ 3	San Juan Bay Stations	18.437665	-66.101517
Canal La Malaria	CM	Ground Stations	18.435714	-66.134322
Canal San Antonio	CSA	San Juan Bay Stations	18.459911	-66.092909
Canal Suárez 1	CS 1	San José and Torrecilla Lagoon Stations	18.426339	-65.998859
Canal Suárez 2	CS 2	San José and Torrecilla Lagoon Stations	18.432897	-65.98515
Caño Martín Peña	CMP	San Juan Bay Stations	18.432944	-66.060892
Embalse Las Curias*	Las Curias	Piedras River Stations	18.342194	-66.050432
Escambrón Centro Pocita	ECP	Not Applicable	18° 27.915'	-66.05219
Laguna del Condado 1	LC 1	San Juan Bay Stations	18.457225	-66.076954
Laguna del Condado 2	LC 2	San Juan Bay Stations	18.461881	-66.084023
Laguna Los Corozos	LLC	San José and Torrecilla Lagoon Stations	18.441579	-66.038588
Laguna Piñones	LP	Ground Stations	18.442242	-65.956453
Laguna San José 1	LSJ 1	San José and Torrecilla Lagoon Stations	18.428583	-66.035523
Laguna San José 2	LSJ 2	San José and Torrecilla Lagoon Stations	18.424755	-66.020036
Laguna Torrecillas 1	LT 1	San José and Torrecilla Lagoon Stations	18.457653	-65.992482
Laguna Torrecillas 2	LT 2	San José and Torrecilla Lagoon Stations	18.443649	-65.979654
Laguna Torrecillas 3	LT 3	San José and Torrecilla Lagoon Stations	18.436139	-65.969095
Península La Esperanza	PLE	Ground Stations	18.448518	-66.135437
Quebrada Blasina	BC	San José and Torrecilla Lagoon Stations	18.42305	-65.967683
Quebrada Juan Méndez	JM	Ground Stations	18.399418	-66.041855
Quebrada San Antón	QSA	San José and Torrecilla Lagoon Stations	18.417355	-66.012213
Río Piedras 1	RP1	Piedras River Stations	18.40244	-66.0651
Río Piedras 2	RP 2	Piedras River Stations	18.388218	-66.058581
Río Piedras 3	RP 3	Piedras River Stations	18.469567	-66.128554
Río Puerto Nuevo	RPN	San Juan Bay Stations Ground Stations	18.453831	-66.122214

176 *Additional beach monitoring station chosen due to popularity (Estuario, 2024a).

177 EIM Collection

178 Benthic macroinvertebrates are monitored quarterly in the Río Piedras River, which provides an effective
 179 representation of the urban rivers in the SJBE watershed. The sampling sites are located adjacent to the
 180 aqueduct, selected due to their accessibility, location near the Estuario water quality monitoring stations,
 181 and presence of riffles and pools (Estuario, 2024b).

182 Seagrass cover is monitored quarterly by percentage of area covered, quantified at five quadrats (0, 5, 10,
 183 15, and 20 meters) along two transects parallel to the shore within the Condado Lagoon. Additionally, coral
 184 reef monitoring and fishes census is performed every five meters along the transects (Estuario, 2024b).

185 Mangroves are another environmental indicator involved in the EIM program in restoration-planting project
 186 sites. Mangrove seedlings are counted one year after being planted to calculate the survival rate. Total
 187 affected area (acres) is also calculated. The areas where mangrove percent survival rate is monitored
 188 include the Condado Lagoon, Piñones State Forest, Isla Verde, and other affected areas along the coast
 189 (Estuario, 2024). Table 7 shows the schedule of events for the EIM program (Estuario, 2024b).

190 Real-Time Remote Telemetric (RTRT) Water Quality Monitoring

191 RTRT monitoring, using sondes, reduces the gap in information and data due to extreme weather and storm
 192 events. Response time is improved through a continuous and uninterrupted data logging scheme. The RTRT
 193 monitoring system consists of six buoy stations with a series of data loggers attached, collecting continuous
 194 water quality data (Estuario, 2025b). This monitoring system provides complimentary data for the monthly
 195 water quality monitoring and additional data for total algae. In addition, RTRT monitoring is especially useful
 196 for assessing changes in water quality after hurricanes, heavy rainfall, storm surge, and other extreme
 197 weather events, when short-term fluctuations in salinity, temperature, dissolved oxygen, turbidity, and other
 198 parameters may otherwise be missed by routine sampling. Some recommended protocols include:

- 199 • Visual assessment (developing a field sheet to document the condition) and sample collection once
 200 it is safe for personnel.
- 201 • Identifying new stations if necessary; for example, the existing stations in the QAPP cannot be used
 202 due to the impact situation.
- 203 • Notifying USEPA of any changes to the approved QAPPs.
- 204 • Public notification to the community.
- 205 • Leading an Incident Command System (ICS) group among agencies and municipalities (the Estuario
 206 IDDE Task Force structure can be used to evaluate monitoring and reporting strategies).

207 Continuous data from the buoy network supports rapid response efforts and help characterize the
 208 estuarine system's reaction to extreme events, improving the ability to evaluate short-term effects and
 209 recovery over time. The sampling locations for RTRT monitoring are provided below in Table 4 and Table 5,
 210 respectively (Estuario 2021).

211 **Table 4. RTRT Monitoring Buoy Locations**

Waterbody	Latitude	Longitude
Condado Lagoon	18.458241	-66.080153
Río Piedras/Puerto Nuevo System	18.424270	-66.080916
Caño Martín Peña	18.43058	-66.049217
San José Lagoon	18.428341	-66.031895

Waterbody	Latitude	Longitude
La Torrecilla Lagoon	18.444104	-65.981107
Juan Méndez Creek	18.425343	-66.040031

212

Table 5. Proposed Schedule of Events for the RTRT Monitoring Program

Task	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
Volunteers and citizen scientist training and certification	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-
RTRT buoys assembling and sensors calibration	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-
RTRT buoys deployment	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-
RTRT data telemetric streaming	X	X	X	X	-	-	X	X	X	X	X	X

213 Note: Shaded cells marked with an "X" note which months each activity in the program occurs.

214 **Long-Term Environmental Indicator Program Monitoring**

215 Estuario also developed a Long-Term Environmental Indicator Program with 25 monitoring stations at
 216 locations of high potential for environmental degradation. The monitoring includes sediments and fish-
 217 tissue contaminants, both of which are analyzed for parameters such as heavy metals, pesticides, organic
 218 contaminants such as polychlorinated biphenyls (PCBs) and semi-volatile organic compounds (SVOCs), and
 219 contaminants of emerging concern (CECs) in water (Estuario, 2021). This indicator program was developed
 220 from research that was completed in the SJBE in 2011, when sediment and fish and crab tissue samples
 221 were collected and analyzed for heavy metals, pesticides, and CECs (Otero & Meléndez, 2011). The Long-
 222 Term Environmental Indicator Program is scheduled to be conducted at intervals of every 5 years. Table 6
 223 summarizes the sampling locations and parameters.

224

Table 6. Sampling Locations for Sediments and Fish and Crab Tissue Contaminants

Station Designation	Coordinates (Latitude, Longitude)	Sediment Samples	Tissue Samples
1SJB	N18.44589, W66.13032	X	X
2SJB	N18.44914, W66.11256	X	-
3SJCA	N18.45762, W66.11152	X	-
16SJB	N18.43692, W66.10102	X	-
15LC	N18.45701, W66.07754	X	-
18LC	N18.45531, W66.07632	X	X
5PC	N18.43851, W66.07987	X	X
4RPN	N18.42865, W66.07702	X	X
6MP	N18.43299, W66.06108	X	X
8SJC	N18.44131, W66.03891	X	X
7MPSJ	N18.42780, W66.03410	X	X
9Sj	N18.42428, W66.02023	X	-
17Sj	N18.41925, W66.01615	X	-
10CS	N18.42680, W65.99709	X	X
11LT	N18.43906, W65.98006	X	X
12BC	N18.45777, W65.99200	X	-
14PN	N18.44280, W65.95259	X	-
13PS	N18.43431, W65.95844	X	-

225

Table 7. Schedule of Events for Environmental Indicator Monitoring

Task	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
Volunteers and citizen scientist training and certification		X				X				X		
Macroinvertebrates monitoring	X			X			X			X		
Seagrass monitoring		X			X			X			X	
Fish census and coral reef monitoring		X			X			X			X	
QA/QC audits							X					
Environmental Data Indicator Index calculation, analysis, and reporting			X			X			X			X

226 Note: Shaded cells marked with an "X" note which months each activity in the program occurs.

227 **Monitoring Data Use and Reporting**

228 Weekly water samples collected on Thursdays are analyzed with the results published on the following
 229 Friday. If the sample values exceed the Enterococcus bacteria Beach Action Value (BAV) water quality criteria
 230 of 70 colonies in 100 milliliters of water, the public is notified with a flag notification system posted on the
 231 Estuario website, which remains posted until the next monitoring event the following week (Estuario,
 232 2025a). Additionally, the results from the weekly samples are posted on Estuario’s social media, including X
 233 and Facebook (USEPA, 2022). DNER conducts and reports weekly sampling for beach water quality on their
 234 Beach Monitoring webpage (2025). At the CLER sites and beaches, signboards provide information about the
 235 program and display a colored flag for each station representing the water conditions: green (*Enterococcus*
 236 values meet the BAV criteria) or red (*Enterococcus* values do not meet the BAV criteria) (Estuario, 2025a).

237 Original data sheets are scanned into electronic files and then archived in the Estuario database for a period
 238 of five years (Estuario, 2024a). Monthly and weekly water sampling results are published on Estuario’s
 239 website, with links on the water quality webpage (Estuario, 2020a). A final technical report is compiled using
 240 the water quality monitoring data, and includes an executive summary, introduction, methods, assessment
 241 reports, tables, graph, discussion of the results, and conclusions (Estuario, 2024a).

242 Data can be used by regulators, government, industry, and those interested in providing financial support,
 243 as well as to help create new strategies to estimate water quality more accurately (Estuario, 2025a). Other
 244 data users include DNER, Puerto Rico Aqueduct and Sewer Authority (PRASA), academia and students,
 245 stakeholders, U.S. Army Corps of Engineers (USACE), and municipalities (Estuario, 2024a).

246 In addition, data generated through the IDDE monitoring are used to support the identification, tracking,
 247 and validation of pollution source corrective actions and infrastructure improvements throughout the
 248 watershed. Results and findings are shared with participating agencies and municipalities through the
 249 interagency IDDE Task Force. This task force meets periodically to discuss and implement solutions to
 250 eliminate illegal and unauthorized sewage discharges in the SJBE watershed.

251 **Monitoring Data Gaps**

252 The monitoring program currently has several important monitoring data gaps that must be addressed to
253 support effective management and evaluation. To develop an understanding of the water quality for the
254 entire estuary system, two main data gaps must be filled:

- 255 1. Understanding the flow of water among the different subbasins and channels.
- 256 2. Quantification of the morphology and bathymetry of the system.

257 Hydrology monitoring paired with water quality is lacking in many subwatersheds. A recommendation is to
258 install continuous stage and flow sensors to calculate loads and enable modeling and predictions for the
259 proposed expanded study area. Implementing an updated and revised Watershed Index QAPP, expanding
260 benthic assessment studies, building centralized data infrastructure and a public dashboard, and adding
261 hydrologic monitoring will substantially reduce monitoring gaps and improve the monitoring program's
262 ability to analysis trends, attribute sources, and inform management.

263 Data management and public access are additional critical gaps in current watershed monitoring efforts.
264 Monitoring data remain fragmented across partners and formats, so a comprehensive, centralized, and
265 publicly accessible database is needed.

266 To improve stakeholder communication and usability, a real-time GIS dashboard that pulls partner data into
267 an easy to navigate map interface with click to view station results and plain language summaries is
268 recommended. Estuario is pursuing a technical support consultant to build this tool and will use
269 programmatic funds for database and dashboard development as well as partner capacity building.

270 **Existing Sources of Funding**

271 Estuario's monitoring activities are currently supported by several external grants and programmatic funds.
272 The RTRT Monitoring Program is funded by the Clean Water State Revolving Fund (SRF) grant C-72-250-03
273 (Estuario, 2025b). In addition, Estuario received support through USEPA grant CE99206929-2, which was
274 active through September 30, 2025. Estuario staff identified additional current and potential funding
275 streams such as ongoing programmatic allocations and additional SRF opportunities. These funding sources
276 have supported core monitoring activities, but additional sustained investment will be needed to expand
277 the program in response to Estuario Plan priorities and emerging monitoring needs. To ensure continuity
278 and expansion of monitoring capacity, it is recommended to proactively secure these funds through near-
279 term actions such as:

- 280 • Document and prioritize recurring programmatic needs in Estuario budgets;
- 281 • Pursue extensions or follow-on proposals for expiring or past grants;
- 282 • Apply for additional state and federal competitive grants; and
- 283 • Incorporate monitoring costs into partner agreements and SRF project budgets where appropriate.

284 Diversifying funding sources and establishing multi-year commitments or memorandums of understanding
285 (MOUs) with partner agencies will reduce the risk of interruptions in monitoring and support planned
286 investments in database development, dashboard tools, benthic and hydrology monitoring, and capacity
287 building. In particular, the Board of Directors has identified CECs as a priority data gap, which requires a
288 targeted funding strategy for expanded sampling, laboratory analysis, QA/QC, and technical support and
289 that aligns programmatic resources, grant opportunities, and partner contributions with long-term
290 monitoring needs.

291 **Additional Funding Required**

292 Additional funding will be required to support CECs monitoring, hydrology and bathymetry studies, data
 293 management infrastructure, rapid-response monitoring, and expanded ecological monitoring. These
 294 investments will be necessary to strengthen Estuario Plan implementation and address key data gaps
 295 identified in this Monitoring Plan and supporting technical recommendations. Without additional funding,
 296 the monitoring outlined in this plan cannot be fully implemented.

297 **Timeframe**

298 **Short-term Actions (0-2 years)**

Key Activities	Performance Measures	Targets	Lead Implementor(s) and Partner(s)	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Continue monthly water quality sampling and current monitoring efforts while implementing targeted near-term improvements such as consolidating datasets to eliminate gaps and integrating real time reporting and mapping for ease of public access.	Complete standardization of QA/QC and metadata processes.	Expanded benthic and watershed index sampling to fill biological indicator gaps.	Leads: Estuario, DNER Implementing partners: municipalities, academia	\$100,000 per year	USEPA, DNER, municipalities
2. Continue Collaborative Water Quality Monitoring efforts and develop an interim monitoring program, if needed, including a QAPP to define roles and responsibilities of the Collaborative Water Quality Monitoring Network, data collection, management, analysis, and interpretation.	Complete project plan and adopt by the Collaborative Water Quality Monitoring Network	Established consistent protocols for field sampling, data management, analysis, and reporting.	Leads: Estuario (Technical Support Consultant contractor) Implementing partners: DNER, municipalities, academia	\$185,000 per year	USEPA, DNER, municipalities
3. Host an annual data summit where the annual report is presented and discussed and all researchers and stakeholders working in the SJBE provide updates on ongoing projects.	Hold annual data summit with participation from researchers and stakeholders.	Shared monitoring results, highlighted ongoing projects, and supported coordination among estuary partners.	Leads: Estuario Implementing partners: DNER, municipalities, academia	\$50,000 per year	USEPA, DNER, municipalities
4. Continue monitoring of avian populations, including the Christmas bird counts and analysis data for trends.	Collect annual bird count data and complete trend analysis.	Maintained annual participation in Christmas bird counts and used the results to track long-term bird population trends in SJBE.	Leads: Estuario Implementing partners: U.S. Forest Service, Sierra Club, Puerto Rico Conservation Trust, Puerto Rico Ornithological Society, eBirds (Cornell Lab)	\$10,000	USEPA, DNER

Key Activities	Performance Measures	Targets	Lead Implementor(s) and Partner(s)	Estimated Costs	Potential Funding Sources
5. Assess water quality sampling locations and identify additional stations if needed.	Review existing sampling locations and identify additional stations as needed.	Evaluated the current monitoring network and adjusted sampling locations to improve spatial coverage and data reliability.	Leads: Estuario, DNER Implementing partners: municipalities, academia	\$150,000	USEPA, DNER
6. Develop an annual monitoring report with the data collected throughout the year from the monthly water quality sampling and the EIM.	Circulate the annual monitoring reports widely within the SJBE.	Synthesized annual observations from both atmospheric and maritime events which are reflected in the monitoring efforts.	Leads: Estuario (Technical Support Consultant) Implementing partners: DNER, municipalities, academia	\$75,000 per year	USEPA
7. Share information and collaborate to develop the Adaptive Monitoring Plan for the Caño Martín Peña Ecosystem Restoration Project.	Develop the Adaptive Monitoring Plan.	Maintained coordination among partners to develop an effective adaptive monitoring plan for the Caño Martín Peña Ecosystem Restoration Project.	Leads: USACE, DNER, ENLACE Implementing partners: Estuario, academia	\$100,000	USEPA, DNER, ENLACE

299

Medium-Term Actions (2-3 years)

Key Activities	Performance Measures	Targets	Lead Implementor(s) and Partner(s)	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Develop restoration and/or protection goals for selected living resources, with associated water quality goals.	Identify and track restoration goals for selected resources.	Established resource and water quality goals that support long-term restoration and protection priorities for the SJBE.	Leads: Estuario (Technical Support Consultant contractor) Implementing partners: DNER, municipalities, academia	\$200,000	DNER
2. Develop reporting tools for living resource goals and associated water quality targets.	Develop and use reporting tools for living resources and associated water quality targets.	Created reporting tools that clearly communicate progress toward living resource goals and related water quality targets.	Leads: Estuario (Technical Support Consultant contractor) Implementing partners: DNER, Estuario, academia	\$100,000	DNER
3. Develop a data management system for all SJBE monitoring activities.	Develop and use a data management system for all SJBE monitoring activities.	Established a centralized data management system that supports consistent storage, access, and use of SJBE monitoring data.	Leads: Estuario (Technical Support Consultant contractor) Implementing partners: DNER, municipalities, academia	\$100,000 to develop, \$25,000 per year to maintain	USEPA, DNER

Key Activities	Performance Measures	Targets	Lead Implementor(s) and Partner(s)	Estimated Costs	Potential Funding Sources
4. Develop a study for benthic substrate monitoring that identifies sampling and measurement design and addresses how the analysis and monitoring of sediments help with SJBE restoration.	Develop benthic substrate monitoring plan.	Established a study that guides sediment monitoring and analysis to inform estuary restoration priorities.	Leads: Estuario Implementing partners: DNER, academia, National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)	\$150,000	NOAA
5. Record water level stage measurements in key SJBE locations.	Collect regular water level stage measurements at key locations and document results/analysis.	Maintained regular stage measurements at key SJBE locations to support hydrologic monitoring and estuarine condition assessment.	Leads: DNER, U.S. Geological Survey (USGS) Implementing partners: Academia	To be determined (TBD) based on number of stage monitoring locations	DNER, USEPA
6. Install recording flow meters on waterbodies that discharge freshwater from the watershed to the estuarine system.	Add recording flow meters on priority freshwater discharge locations and document results/analysis.	Established flow monitoring at key discharge points to improve understanding of freshwater inputs to the estuarine system.	Leads: DNER, USGS Implementing partners: Academia	TBD based on the number of flow meter locations	DNER, USEPA
7. Conduct a bathymetric assessment of the estuary and repeat every five years to evaluate the magnitude of change and decide on future assessment of the bathymetry.	Complete bathymetric assessment on a five-year cycle and document results/analysis.	Used bathymetric assessments to track change over time and guide future monitoring needs.	Leads: USACE Implementing partners: USGS, NOAA, DNER	\$500,000	USACE, NOAA
8. Assess flyovers at five-year intervals to assess the land cover and underwater cover and integrate into a GIS system.	Complete five-year aerial and benthic habitat assessments and integrate into GIS.	Used land cover and benthic habitat assessments to track ecological change over time and support estuary management decisions.	Leads: U.S. Forest Service, USGS Implementing partners: DNER, academia	\$350,000	USEPA, DNER, municipalities, USACE
9. Provide comprehensive monitoring of avian populations within the SJBE.	Conduct comprehensive avian population monitoring within the SJBE and document results/analysis.	Maintained ongoing bird monitoring to track avian population trends and inform estuary management and restoration efforts.	Leads: U.S. Forest Service, USGS Implementing partners: DNER, academia, Audubon Society, local organizations	\$150,000 per year	U.S. Forest Service, USGS

300 **Long-Term Actions (3+ years)**

Key Activities	Performance Measures	Targets	Lead Implementor(s) and Partner(s)	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Complete design of long-term monitoring efforts.	Implement long-term monitoring design and document results/analysis.	Finalized a long-term monitoring framework that supports consistent implementation and evaluation of estuary conditions over time.	Leads: Estuario, DNER Implementing partners: municipalities, academia	\$150,000	USEPA, DNER, municipalities
2. Repeat quantitative estuary-wide forest inventories every ten years to monitor forest condition and level of services to society.	Complete the quantitative estuary-wide forest inventory and document results/ analysis.	Used decennial forest inventory to assess conditions, track change over time, and evaluate ecosystem services.	Leads: U.S. Forest Service Implementing partners: DNER, municipalities, academia	\$100,000	U.S. Forest Service
3. Assess the number of additional remote water quality monitoring platforms required to complement extreme event sampling and evaluate how a rapid-response plan integrates outputs from these platforms to characterize the estuarine system's overall response.	Integrate remote water quality monitoring platforms into a rapid response plan.	Determined the additional monitoring capacity needed to support extreme event response and improve characterization of estuarine conditions during and after major events.	Leads: Estuario, DNER Implementing partners: municipalities, academia	\$250,000	USEPA, DNER, municipalities
4. Continue to utilize satellite imagery and GIS to monitor coverage of the SJBE's ecological systems.	Identify gaps in data to better monitor the SJBE's ecological systems.	Used current imagery and GIS resources to monitor current processes within the SJBE's ecological systems.	Leads: Estuario, DNER Implementing partners: municipalities, academia, U.S. Forest Service	\$100,000	USEPA, DNER, municipalities, U.S. Forest Service

301 **References**

302 DNER. 2025. *Beach Monitoring Program*. <https://www.drna.pr.gov/programas-y-proyectos/monitoria-de-playas/programa-de-monitoria-de-playas/>.

303

304 Estuario. 2020a. *Water quality*. https://estuario.org/calidad-de-agua/#calidad_agua_semanal In Bay Estuary.

305 Estuario. 2020b. *Beaches and Lagoon Monitoring*.

306 https://estuario.org/enterococcus/?wdt_column_filter%5BFecha%5D=.

307 Estuario. 2021. Quality Assurance Project Plan for Updating Estuarine Environmental Indicators for the San

308 Juan Bay Estuary: Assessment of Sediment - Fish Tissue Contaminants & Contaminants of Emerging Concern

309 in Surface Waters.

- 310 Estuario. 2022a. San Juan Bay Estuary Partnership Strategic Plan 2022-2027. Strategic Plan Action #6:
311 Develop environmental goals and metrics, and associated monitoring and reporting tools. September 26,
312 2022.
- 313 Estuario. 2022b. Estuario Strategic Plan Development Project, Task 2c. Preliminary findings and suggestions
314 on current methods of measuring, tracking and reporting progress toward Estuario's environmental goals.
315 March 4, 2022.
- 316 Estuario. 2024a. Quality Assurance Project Plan for the San Juan Bay Estuary Water Quality Volunteer
317 Monitoring Program.
- 318 Estuario. 2024b. Quality Assurance Project Plan for San Juan Bay Estuary Environmental Indicators
319 Monitoring.
- 320 Estuario. 2025a. Quality Assurance Project Plan for The Condado Lagoon Estuarine Reserve & Coastal
321 Enterococcus monitoring project.
- 322 Estuario. 2025b. Quality Assurance Project Plan for Real-Time Remote Telemetric (RTRT) Water Quality
323 Monitoring.
- 324 Estuario. 2025c. Water Quality Day. <https://estuario.org/diadecalidaddeagua/>.
- 325 Otero, E., Meléndez, A. 2011. Estuarine Environmental Indicators for the San Juan Bay Estuary: Assessment
326 of Sediment and Fish Tissue Contaminants. [https://estuario.org/wp-](https://estuario.org/wp-content/uploads/2021/02/SJBE_Contamination_Assessment_Report_2011-compressed.pdf)
327 [content/uploads/2021/02/SJBE Contamination Assessment Report 2011-compressed.pdf](https://estuario.org/wp-content/uploads/2021/02/SJBE_Contamination_Assessment_Report_2011-compressed.pdf).
- 328 University of Puerto Rico College of Agricultural Sciences, Agro-environmental Science Department. 2026.
329 Implementation of a Water Quality Restoration Strategy at the San Juan Bay Estuary and the Río Grande de
330 Loíza (Below Dam) Estuary Contributing Zone (Phase II). Progress Report Encompassing Period from
331 November 1, 2019, to March 31, 2026. Completed for the Corporation for the Conservation of the San Juan
332 Bay Estuary under SJBE Contract Number C-72-250-03. April 2026.
- 333 USEPA. 2022. <https://storymaps.arcgis.com/stories/851e3c49e8584f9aa7a0c8b516299a6e>.