

1 **Mantener y mejorar la infraestructura gris y verde obsoleta y en mal estado**
2 **que impacta negativamente la calidad del agua y de los sedimentos en el**
3 **lecho estuarino.**
4

5 [Nota: Página divisoria con el título del plan de acción y una bonita imagen].

Introducción

El Estuario de la Bahía de San Juan (EBSJ) es un recurso ecológico y económico vital para Puerto Rico. Sin embargo, se enfrenta a retos significativos debido a la decadencia y las fallas de la infraestructura. Este plan de acción aborda la necesidad crítica de mantener y mejorar tanto la infraestructura gris como la verde, que son esenciales para salvaguardar y mejorar la calidad del agua y los sedimentos y la salud del ecosistema estuarino.

El término infraestructura gris se refiere a la infraestructura tradicional y los sistemas de ingenierías, como los sistemas de alcantarillado sanitario y los desagües de aguas pluviales, diseñados para gestionar los flujos de agua y alejar las aguas sanitarias de las zonas urbanas a través de tuberías y conductos. En cambio, la infraestructura verde engloba sistemas y procesos naturales, como los humedales y áreas con vegetación, que sirven para absorber, reducir y manejar las aguas pluviales, a la vez que aportan beneficios ecológicos¹. Juntas, estas infraestructuras desempeñan un papel fundamental a la hora de responder a los problemas prioritarios presentados en este plan de acción, como la contaminación, las inundaciones y los riesgos para la salud pública.

Reconociendo la interdependencia de las infraestructuras grises y verdes, este plan de acción enfatiza el desarrollo de soluciones de infraestructuras híbridas que integren ambos enfoques. Al fomentar la colaboración entre los sistemas de ingeniería y los ecosistemas naturales, se puede mejorar la resiliencia de las estrategias de manejo del agua en el EBSJ. Un enfoque híbrido puede mejorar la calidad del agua y promover los servicios ecosistémicos, que son productos socialmente valorados de los ecosistemas que dependen de estructuras y procesos ecosistémicos autorregulados o gestionados². En el caso del EBSJ, los ejemplos de servicios ecosistémicos incluyen la mitigación de inundaciones, la purificación del agua y la provisión de hábitats. Dar prioridad a las infraestructuras híbridas es crucial en la búsqueda de soluciones sostenibles para el EBSJ.

En las siguientes secciones, los lectores encontrarán una visión global de los diversos tipos de infraestructura fundamentales para el sistema del EBSJ, incluidas las instalaciones de tratamiento de aguas sanitarias, los sistemas de manejo de aguas pluviales y las mejores prácticas de manejo. Cada uno de estos componentes trabaja en sinergia para mejorar la calidad del agua y la salud ecológica, subrayando la interconexión de la naturaleza con los retos medioambientales en el EBSJ.

Las evaluaciones de referencia destacadas en este plan de acción proporcionan una base para comprender el estado actual de la infraestructura del EBSJ y la urgencia de la intervención. Las principales conclusiones revelan la apremiante necesidad de mejorar la infraestructura, el impacto de la urbanización y los eventos extremos, y el potencial de soluciones innovadoras que aprovechen tanto las estrategias grises como las verdes.

¹ Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. 2017. Diferentes tonos de verde: Investigación sobre infraestructura verde en la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. Consultado en:

https://19january2017snapshot.epa.gov/sites/production/files/2016-10/documents/green_infrastructure_brochure_final.pdf.

² Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos. Uso de información sobre bienes y servicios de los ecosistemas en la planificación del Cuerpo. Septiembre de 2013. Consultado en: <https://www.iwr.usace.army.mil/Media/News-Stories/Article/481105/using-information-on-ecosystem-goods-and-services-in-corps-planning/>.

39 **Infraestructura de aguas sanitarias (incluye áreas sin infraestructura)**

40 **Base científica**

41 La infraestructura de aguas sanitarias dentro del sistema del EBSJ es fundamental para mantener la calidad
42 del agua de los cuerpos de agua naturales y superficiales, así como la salud pública, pero se enfrenta a retos
43 importantes. La decadencia de los sistemas y las limitaciones de capacidad se ven agravados por las
44 vulnerabilidades relacionadas con la subida del nivel del mar y el aumento de las tormentas y su intensidad.
45 El manejo eficaz de las aguas sanitarias es esencial para prevenir la contaminación, proteger los hábitats
46 acuáticos y garantizar que los residentes tengan acceso a agua limpia.

47 Los sistemas de alcantarillado sanitario del EBSJ se han enfrentado históricamente a importantes retos. La
48 Ley de Agua Limpia, promulgada en 1972, estableció normativas para controlar la descarga de
49 contaminantes, pero antes muchos contaminantes industriales se descargaban directamente a las vías
50 fluviales. El Sistema Nacional de Eliminación de Descarga de Contaminantes (NPDES, por las siglas en inglés)
51 se estableció en 1987 para controlar el cumplimiento de los estándares de calidad del agua. A pesar de
52 estos marcos regulatorios, los sistemas actuales de tratamiento de aguas sanitarias, incluyendo las plantas
53 de tratamiento regionales de Carolina, Bayamón y Puerto Nuevo, tienen un historial de mantenimiento
54 deficiente y desbordamientos frecuentes. Estos sistemas, que en conjunto manejan un flujo promedio de
55 177 millones de galones diarios, están exentos de los requisitos de tratamiento secundario bajo la sección
56 301(h) de la Ley de Agua Limpia. Esta exención permite descargar al océano aguas sanitarias tratadas
57 primariamente que contienen elevadas concentraciones de nutrientes, lo que suscita preocupación por la
58 salud del estuario. Esta exención en virtud de la sección 301(h) se debe a los singulares retos geográficos,
59 económicos y de infraestructura de Puerto Rico, que hacen que el tratamiento secundario completo de las
60 aguas sanitarias sea difícil de conseguir o mantener (Agencia de Protección Ambiental de EE. UU. [USEPA],
61 2011).

62 Las comunidades de Cantera, Marina, Buena Vista, Israel y Bitumul se establecieron en la ribera oriental del
63 Caño Martín Peña rellenando sus aguas y humedales con escombros y otros tipos de desechos (Sepúlveda-
64 Rivera y Carbonell, 1988). Estas viviendas se desarrollaron sin alcantarillado sanitario, lo que provocó la
65 descarga de aguas servidas sin tratamiento en cunetas improvisadas o directamente en el Caño Martín
66 Peña. Condiciones similares se pueden encontrar en otras comunidades dentro del sistema del EBSJ,
67 incluyendo Juana Matos, Cucharillas y Puente Blanco en Cataño; Palo Seco en Toa Baja; Vietnam y Amelia en
68 Guaynabo; Playita, El Checo, Sierra Maestra, Villa Clemente y Plebiscito 1, 2 y 3 en San Juan; y La Torre y
69 Piñones en Loíza. En algunas áreas, los residentes han construido sistemas sépticos *in situ* para eliminar las
70 aguas sanitarias en lugar de descargarlas directamente al estuario, sus tributarios y otros cuerpos de agua
71 superficiales relacionados. Sin embargo, el uso de pozos sépticos subterráneos es inadecuado en estas
72 zonas bajas, que son propensas a inundaciones y filtraciones.

73 Las regiones costeras bajas, entre ellas las del EBSJ, son especialmente susceptibles a la subida del nivel del
74 mar, que puede provocar inundaciones y mayores riesgos para la infraestructura subterránea, incluidos los
75 sistemas de alcantarillado sanitario. El nivel del agua subterránea puede subir a medida que aumenta el
76 nivel del mar, lo que afecta a la funcionalidad de los sistemas centralizados y descentralizados. Más del 40 %
77 de la población de Puerto Rico depende de sistemas sépticos para la eliminación de las aguas sanitarias

domésticas, y estos sistemas pueden contaminar el agua, especialmente cuando están mal mantenidos o ubicados cerca de cuerpos de agua (USEPA, 2019). Comunidades como Juana Matos y Puente Blanco son particularmente vulnerables, ya que enfrentan riesgos de inundaciones que pueden provocar el desbordamiento de las aguas sanitarias y la contaminación de las vías fluviales locales.

La descarga de aguas sanitarias sin tratar en el EBSJ presenta un riesgo para la salud de las comunidades circundantes, los usuarios del estuario y los recursos vivos (Estuario, 2000). Las descargas ilícitas de fuentes no autorizadas complican aún más los problemas de calidad del agua en el EBSJ. Estas descargas pueden tener su origen en actividades industriales, sistemas informales y escorrentía de aguas pluviales, lo que complica los esfuerzos de monitoreo y fiscalización. La identificación y respuesta eficaces a las descargas ilícitas requieren la colaboración entre agencias locales y la educación y participación de la comunidad, lo que a menudo se ve dificultado por la escasez de recursos. Como la población de la cuenca sigue creciendo y la infraestructura de aguas sanitarias existente se vuelve obsoleta e inadecuada, hay una necesidad apremiante de invertir en nueva infraestructura y tecnología para proporcionar niveles fiables y más altos de tratamiento de las aguas sanitarias.

Los efectos sobre la salud pública son una preocupación importante asociada al manejo inadecuado de las aguas sanitarias. El estado de la infraestructura de alcantarillado sanitario incide directamente en el riesgo de enfermedades transmitidas por el agua y en otros problemas de salud, especialmente entre las poblaciones vulnerables de la región. Robustecer los sistemas de alcantarillado sanitario es esencial para salvaguardar la salud de la comunidad y garantizar el acceso al agua potable.

Existen marcos y planes para ayudar a enfrentar los retos actuales asociados a la infraestructura de alcantarillado sanitario. El decreto de consentimiento entre la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados de Puerto Rico (AAA) y la USEPA esboza acciones específicas para atender las deficiencias en sus procesos de tratamiento y distribución de agua, garantizando el cumplimiento de los estándares federales de calidad del agua. Asimismo, la AAA está implementando un extenso programa de mejoras capitales en toda la isla, con 67 proyectos actualmente en marcha en el área de estudio del estuario. Estos proyectos van desde el reemplazo de tuberías obsoletas hasta la rehabilitación de sistemas completos de alcantarillado sanitario.

Además, el Plan Maestro de Infraestructura Integral del Caño Martín Peña representa un enfoque proactivo para abordar los desafíos únicos que enfrentan las comunidades alrededor del Caño Martín Peña. Este plan subraya la agencia comunitaria e incorpora el análisis de riesgo de eventos extremos para desarrollar estrategias que mejoren la calidad del agua y la salud pública.

En resumen, la infraestructura de alcantarillado sanitario en la cuenca del EBSJ se enfrenta a numerosos desafíos, incluyendo el envejecimiento de los sistemas, el aumento del nivel del mar y los efectos de eventos extremos, así como los riesgos para la salud pública. Para hacer frente a estas vulnerabilidades se requiere un enfoque multifacético y multisectorial que incluya la inversión en las mejoras de la infraestructura, mejoras al monitoreo, a la fiscalización y la participación de la comunidad.

En este sentido, el Grupo de Trabajo de Detección y Eliminación de Descargas Ilícitas (IDDE Task Force, por su acrónimo y nombre en inglés) del EBSJ es un grupo de trabajo creado en el 2014 por Estuario que se reúne periódicamente para discutir e implementar soluciones para la eliminación de descargas de aguas

sanitarias ilegales y no autorizadas en la cuenca del EBSJ. El IDDE Task Force incluye miembros de las agencias ambientales estatales y federales, de municipios, la academia y otras partes interesadas.

Tras la creación del IDDE Task Force, Estuario recibió una subvención de la Junta de Calidad Ambiental de Puerto Rico (ahora parte del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales —DRNA) a través de los Fondos Estatales Rotatorios y la sección 319 de la Ley de Agua Limpia para identificar las descargas de aguas sanitarias crudas y otros contaminantes en la cuenca del EBSJ. Tras un cuidadoso y riguroso proceso de selección, Estuario contrató a la Estación Experimental Agrícola de la Universidad de Puerto Rico para realizar el estudio. Los hallazgos del estudio se discuten a través del IDDE Task Force; por lo tanto, este grupo se convirtió en la plataforma para implementar y monitorear las acciones correctivas.

Objetivos

- Eliminar las descargas ilícitas provenientes de la infraestructura de aguas sanitarias.
- Optimizar sistemas sépticos existentes.

Acciones

WS-01 Diseñar y construir un sistema de alcantarillado sanitario para las comunidades que bordean la sección este del Caño Martín Peña.

Referencias

Las comunidades que bordean la sección oriental del Caño Martín Peña —incluyendo Cantera, Marina, Buena Vista, Israel y Bitumul— se desarrollaron sin contar con infraestructura esencial, como sistemas de alcantarillado sanitario. Como resultado, los residentes han dependido de métodos improvisados para la eliminación de las aguas sanitarias. Esta falta de infraestructura sanitaria adecuada ha causado retos significativos ambientales y de salud pública.

Durante las lluvias torrenciales y las inundaciones, estas comunidades se ven inundadas por una mezcla de aguas pluviales y aguas sanitarias sin tratar, lo que agrava la exposición de los residentes a patógenos y contaminantes nocivos. La inundación combinada de aguas sanitarias y pluviales no solo contamina los hogares y las calles, sino que también aumenta el riesgo de enfermedades transmitidas por el agua y otras afecciones sanitarias. Tabla1 a continuación ilustra la elevada prevalencia de ciertos problemas de salud en los barrios del este del Caño Martín Peña en comparación con las tasas generales en Puerto Rico, destacando el impacto desproporcionado en estas poblaciones vulnerables.

Tabla1 . Problemas de salud comunes encontrados en los vecindarios del este del Caño Martín Peña (de USACE, 2016)

Enfermedad	Prevalencia en el Caño Martín Peña	Prevalencia en Puerto Rico ¹	Población del este del Caño Martín Peña	Población existente afectada
Gastroenteritis	31 %	21 %	18,074	5,603
Asma (niños menores de 5 años)	44.5 %	22 %	1,046	465
Dermatitis (niños de 5 a 9 años)	35.3 %	24.8 %	958	338

Fuente: Escuela de Medicina de Ponce (2011); Universidad de Puerto Rico, 2013.

La descarga de aguas sanitarias sin tratar al EBSJ, particularmente a través del Caño Martín Peña, representa un riesgo significativo para la salud, tanto de los residentes de las comunidades adyacentes,

149 como para los usuarios del estuario y el ecosistema en general. La contaminación del agua perjudica la
150 salud pública y disminuye la capacidad del estuario para permitir actividades recreativas como la pesca y la
151 navegación, así como las oportunidades económicas que dependen de un entorno limpio y seguro.

152 Dada la naturaleza crítica de estos problemas, Estuario ha identificado el Caño Martín Peña como una zona
153 prioritaria de intervención y restauración. Los esfuerzos para mitigar la contaminación por aguas sanitarias
154 se han concentrado aquí debido a la gravedad de la contaminación y su impacto en la salud pública y la
155 calidad ambiental. Estas iniciativas incluyen la participación de la comunidad, proyectos de rehabilitación
156 ambiental y el desarrollo de infraestructura destinada a reducir las descargas de aguas sanitarias sin tratar.

157 Es importante destacar que las lecciones aprendidas de la restauración en curso del Caño Martín Peña
158 proporcionan un marco valioso para asumir retos similares en otras comunidades a lo largo del EBSJ que
159 actualmente carecen de servicios adecuados de alcantarillado sanitario. La exitosa implementación de la
160 construcción del alcantarillado sanitario y el manejo de las aguas sanitarias en el Caño Martín Peña puede
161 servir de modelo, guiando futuros proyectos para mejorar la calidad del agua, proteger la salud pública y
162 fomentar el desarrollo sostenible en toda la cuenca del estuario.

163 **Actividades**

Actividad	Métricas de cumplimiento	Metas	Parte(s) interesada(s) y socio(s) responsable(s)	Estatus	Periodo de tiempo	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Implementar las mejoras del alcantarillado sanitario incluidas en el Plan Maestro de Infraestructura del Caño Martín Peña.	Reducción de contaminantes que llegan al sistema del EBSJ provenientes de los sistemas de alcantarillado sanitario de estas comunidades.	Agregar sistemas de alcantarillado sanitario para las comunidades a lo largo del Caño Martín Peña.	Líder: AAA Socio ejecutivo: Municipio de San Juan	En curso	5+ años	A determinarse	USEPA, Fondo Rotatorio Estatal, AAA, DRNA, municipios, Agencia Federal para el Manejo de Emergencias (FEMA), Subvención en Bloque para el Desarrollo Comunitario (CDBG)
2. Utilizar el Plan Maestro de Infraestructura del Caño Martín Peña para desarrollar un plan de manejo de alcantarillado sanitario para las comunidades del Caño Martín Peña.	Identificar áreas prioritarias para mejoras y construcción de infraestructura de alcantarillado sanitario.	Identificar áreas prioritarias para mejoras en la infraestructura de alcantarillado sanitario.	Líder: AAA Socios ejecutivos: DRNA, municipios, academia, comunidad científica, grupos comunitarios, Estuario	Pendiente	3-5 años	A determinarse	USEPA, DRNA, municipios, FEMA, CDBG

Actividad	Métricas de cumplimiento	Metas	Parte(s) interesada(s) y socio(s) responsable(s)	Estatus	Periodo de tiempo	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
3. Implantar las recomendaciones prioritarias del Plan Maestro de Infraestructura del Caño Martín Peña para mejorar la calidad del agua y el desempeño del sistema.	Mejoras en la calidad del agua.	Ejecutar los proyectos prioritarios del Plan Maestro de Infraestructura del Caño Martín Peña.	Líder: AAA Socios ejecutivos: DRNA, municipios, agencias reguladoras	Pendiente	5+ años	A determinarse	Fondo Rotatorio Estatal, USEPA, AAA, DRNA, municipios, FEMA, CDBG

Requisitos reglamentarios y de política pública

Las descargas de aguas sanitarias crudas en los cuerpos de agua superficiales resultan en una violación de los estándares de calidad del agua del DRNA y las disposiciones aplicables de los permisos NPDES y sus reglamentos de implantación. Se debe desarrollar, financiar y fiscalizar su cumplimiento.

WS-01 Diseñar y construir un sistema de alcantarillado sanitario para las comunidades que carecen de un sistema adecuado.

Referencias

Varias comunidades dentro de la cuenca del EBSJ, incluyendo los sectores Jurutungo 1 y 2 en Hato Rey, sector Buena Vista y calles Los Pinos y Naguabo en Barrio Obrero, sector Las Monjas en Hato Rey Centro, sectores de Blanes Final, sector Israel Bitumul, sector Cayo Hueso, Buen Consejo, y municipios como Cataño y Loíza, carecen de sistemas adecuados de alcantarillado sanitario. Estas áreas se han desarrollado históricamente con una infraestructura de aguas sanitarias insuficiente, lo que ha resultado en una dependencia generalizada de sistemas sépticos, métodos de eliminación improvisados o descargas directas de aguas sanitarias no tratadas o parcialmente tratadas en las vías fluviales locales (USEPA, 2025).

La ausencia de una cobertura adecuada de alcantarillado sanitario en estos sectores densamente poblados contribuye significativamente a la degradación de la calidad del agua dentro del EBSJ y sus tributarios. Las descargas de aguas sanitarias no tratadas introducen altos niveles de nutrientes, patógenos y otros contaminantes, que dañan los ecosistemas acuáticos, amenazan la salud pública y deterioran el potencial de actividades recreativas y económicas (USACE, 2016; Ponce School of Medicine, 2011). Además, la infraestructura inadecuada de aguas sanitarias exacerba las inundaciones y los peligros sanitarios, particularmente durante eventos de lluvias fuertes, afectando desproporcionadamente a las comunidades vulnerables de bajos ingresos.

Abordar estas brechas de infraestructura es esencial para mejorar las condiciones ambientales y los resultados de salud en toda la cuenca del EBSJ. El diseño y la construcción de nuevos sistemas de alcantarillado sanitario adaptados a las necesidades específicas de estas zonas desatendidas reducirá las cargas contaminantes, mejorará la resistencia a las inundaciones y apoyará el desarrollo sostenible de la comunidad. Las intervenciones eficaces requieren una evaluación exhaustiva de las necesidades, la participación de la comunidad para garantizar que los sistemas cumplen los requisitos locales y fomentan un uso adecuado, y la obtención de financiamiento y asociaciones para la operación y el mantenimiento a largo plazo.

194 Esta acción se alinea con los objetivos regionales de calidad del agua y con la misión más amplia de Estuario
195 de restaurar y proteger la salud del estuario, centrándose en las fuentes críticas de contaminación y en las
196 deficiencias de la infraestructura. La instalación de sistemas de alcantarillado sanitario en estos sectores
197 prioritarios creará beneficios ambientales y sociales medibles en toda la cuenca.

198 **Actividades**

Actividad	Métricas de cumplimiento	Metas	Parte(s) interesada(s) y socio(s) responsable(s)	Estatus	Periodo de tiempo	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Llevar a cabo una evaluación de las necesidades para identificar áreas adicionales que actualmente carecen de sistemas de alcantarillado sanitario.	Finalización de un informe de evaluación de necesidades que identifique las zonas sin cobertura de alcantarillado sanitario.	Evaluación completa	Líder: AAA Socios ejecutivos: DRNA, comunidad científica, municipios, Estuario	Pendiente	0-2 años	A determinarse	USEPA, DRNA, municipios
2. Involucrar a las comunidades en el proceso de diseño para satisfacer las necesidades y fomentar el uso adecuado.	Número de sesiones de compromiso comunitario celebradas y nivel de implicación de los participantes en el proceso de diseño.	Se celebrarán sesiones de participación para atender las necesidades de la comunidad.	Líder: Estuario Socios ejecutivos: DRNA, AAA, comunidad científica, municipios, grupos comunitarios, Estuario.	Pendiente	0-2 años	A determinarse	USEPA, DRNA, municipios
3. Desarrollar diseños y planes de áreas identificadas y asegurar financiamiento para apoyar la construcción y mantenimiento de nuevos sistemas de alcantarillado.	Finalización de los planes de diseño y obtención satisfactoria de compromisos de financiamiento.	Finalización de los diseños y obtención de financiamiento.	Líder: AAA Socios ejecutivos: DRNA, comunidad científica, municipios, Estuario	Pendiente	3-5 años	A determinarse	USEPA, DRNA, municipios
4. Construir y lograr que los nuevos sistemas de alcantarillado sanitario estén en pleno funcionamiento.	Número de nuevos sistemas de alcantarillado sanitario construidos y verificados como completamente operacionales.	Se completará la construcción y se logrará que esté completamente operacional.	Líder: AAA Socios ejecutivos: DRNA, municipios	Pendiente	5+ años	A determinarse	USEPA, DRNA, municipios

Actividad	Métricas de cumplimiento	Metas	Parte(s) interesada(s) y socio(s) responsable(s)	Estatus	Periodo de tiempo	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
5. Supervisar la eficacia de las soluciones y determinar el cumplimiento.	Sistemas de alcantarillado que satisfagan las necesidades de las comunidades.	Sistemas de alcantarillado adecuados para las comunidades.	Líder: AAA Socios ejecutivos: DRNA, municipios	Pendiente	5+ años	A determinarse	AAA, DRNA, municipios

Requisitos reglamentarios y de política pública

Las descargas de aguas sanitarias crudas en los cuerpos de agua superficiales resultan en una violación de los estándares de calidad del agua del DRNA y las disposiciones aplicables de los permisos NPDES y sus reglamentos de implantación. Se debe desarrollar, financiar y fiscalizar su cumplimiento.

WS-02 Reubicar a las familias que viven adyacentes al Caño Martín Peña.

Referencias

El Caño Martín Peña es un canal mareal crítico dentro del sistema del EBSJ que ha sido severamente afectado por décadas de invasión urbana, contaminación e infraestructura inadecuada. Uno de los principales retos ambientales y de salud pública en el área del Caño Martín Peña surge de las densas comunidades construidas a lo largo de sus riberas, muchas de las cuales se desarrollaron informalmente sin acceso a servicios esenciales, como sistemas de alcantarillado sanitario o drenaje adecuado. Estas comunidades se enfrentan a inundaciones recurrentes, exposición a aguas sanitarias sin tratar y condiciones de vida deterioradas, colocando a los residentes —muchos de los cuales se encuentran entre las poblaciones más vulnerables de Puerto Rico— en un riesgo significativo (USACE, 2016).

La proximidad de las viviendas residenciales al canal no solo contribuye a la degradación de la calidad del agua a través de la descarga directa de aguas sanitarias, sino que también exacerba los riesgos de inundación durante las tormentas, lo que lleva a preocupaciones generalizadas de salud pública, incluyendo enfermedades transmitidas por el agua y problemas respiratorios (Ponce School of Medicine, 2011; Universidad de Puerto Rico, 2013). La compleja interacción entre la infraestructura inadecuada, la degradación ambiental y la vulnerabilidad social hace que el área del Caño Martín Peña sea un foco prioritario para los esfuerzos de restauración y resiliencia.

Reconociendo estos desafíos, la reubicación de las familias que viven inmediatamente adyacentes al Caño Martín Peña es una intervención crítica para reducir la exposición humana a condiciones ambientales peligrosas y permitir la restauración integral del ecosistema y mejoras en la infraestructura. Los esfuerzos de reubicación son esenciales para romper el ciclo de contaminación e inundaciones, mejorar la calidad de vida de los residentes y crear espacio para la construcción de infraestructura sanitaria adecuada, así como amortiguadores verdes a lo largo del canal (USACE, 2016).

El éxito de la reubicación requiere una evaluación exhaustiva de los hogares, una participación transparente de la comunidad y un seguimiento continuo para atender las necesidades y preocupaciones de los residentes durante todo el proceso. Este enfoque se alinea con las mejores prácticas relativas a la resiliencia de la comunidad, garantizando que las poblaciones afectadas participen activamente en la planificación de la reubicación y reciban servicios de apoyo adecuados.

231 La aplicación de una estrategia de reubicación bien planificada en la zona del Caño Martín Peña protegerá la
232 salud pública y facilitará la restauración y protección a largo plazo del EBSJ, beneficiando a las comunidades
233 y a los ecosistemas a través de toda la cuenca.

234 **Actividades**

Actividad	Métricas de cumplimiento	Metas	Parte(s) interesada(s) y socio(s) responsable(s)	Estatus	Periodo de tiempo	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Llevar a cabo una iniciativa de evaluación y cartografía de los hogares para identificar las necesidades y prioridades de reubicación.	Mapa detallado en el que se identifiquen los hogares que necesitan reubicación con una clasificación por prioridades.	Lista de prioridades de reubicación.	Líder: Proyecto ENLACE Socios ejecutivos: DRNA, municipios, grupos comunitarios	Pendiente	0-2 años	A determinarse	USEPA, DRNA, municipios, FEMA
2. Desarrollar un plan de compromiso y comunicación con la comunidad para informar a los residentes sobre las opciones, los plazos y los servicios de apoyo disponibles.	Plan de compromiso y comunicación con la comunidad completado con estrategias y materiales de divulgación.	Plan para llegar a los residentes de las comunidades.	Líder: Proyecto ENLACE Socios ejecutivos: DRNA, municipios, grupos comunitarios, Estuario	Pendiente	0-2 años	A determinarse	USEPA, DRNA, municipios
3. Establecer un marco de supervisión y evaluación para hacer un seguimiento del progreso de la reubicación y atender cualquier reto o preocupación.	Marco de seguimiento y evaluación con indicadores claros y protocolos de información.	Marco de seguimiento.	Líder: Proyecto ENLACE Socios ejecutivos: DRNA, municipios, grupos comunitarios, Estuario	Pendiente	3-5 años	A determinarse	USEPA, DRNA, municipios, FEMA

235 **Requisitos reglamentarios y de política pública**

236 Las descargas de aguas sanitarias crudas en los cuerpos de agua superficiales suponen una violación de los
237 estándares de calidad del agua del DRNA y de las disposiciones aplicables de los permisos NPDES y sus
238 reglamentos de implantación. Se debe desarrollar, financiar y fiscalizar su cumplimiento.

239 ***WS-03 Implementar mejoras a la infraestructura para apoyar la reducción de descargas de aguas sanitarias sin tratar en***
240 ***el EBSJ.***

241 **Referencias**

242 Las descargas de aguas sanitarias sin tratar son una fuente importante de contaminación en el sistema del
243 EBSJ. Las descargas de aguas sanitarias sin tratar tienen un impacto significativo sobre la fauna y otros
244 recursos vivos y suponen un grave peligro para la salud de las personas que viven cerca del sistema
245 estuarino o que utilizan sus aguas para recreación y navegación. Para reducir eficazmente estas descargas

de aguas sanitarias sin tratar, es imperativo llevar a cabo adaptaciones específicas de la infraestructura que mejoren la integridad y el funcionamiento del sistema de alcantarillado sanitario para minimizar los desbordamientos y los fallos del sistema.

Los problemas históricos con la operación y mantenimiento del sistema de alcantarillado sanitario de la AAA han incluido obstrucciones en las líneas de alcantarillado sanitario, lo que ha provocado represamientos del sistema y desbordamientos en los pozos de registro; infiltración de aguas pluviales en el sistema sanitario, lo que resulta en desbordamientos; sistemas sanitarios y pluviales combinados o interconectados; y desbordamientos en las estaciones de bombeo. Estos problemas crónicos, provocados por la decadencia y el deterioro de la infraestructura, exigen adaptaciones específicas, como la reparación o sustitución de las tuberías de alcantarillado dañadas, la separación de los sistemas de alcantarillado combinados cuando sea posible y la modernización de las estaciones de bombeo con automatización y energía de reserva para mejorar la confiabilidad. Estos problemas se exacerban por una infraestructura obsoleta que lucha por satisfacer las demandas de una población creciente en la cuenca del EBSJ, particularmente ante el aumento de eventos de tormenta que infiltran agua en el sistema.

En 2023, la AAA llegó a un acuerdo con la USEPA para realizar mejoras y actualizaciones significativas a su sistema de recolección e instalaciones de tratamiento de aguas sanitarias. Este acuerdo amplió los requisitos presentados en el decreto de consentimiento de 2016, que se estableció inicialmente para abordar las deficiencias en los procesos de tratamiento y distribución de agua de la AAA. Fue necesario modificar el decreto de consentimiento debido a los daños causados durante los huracanes Irma y María, que resaltaron aún más las vulnerabilidades de la infraestructura existente. Los esfuerzos en curso bajo este decreto incluyen una evaluación exhaustiva del sistema de recolección, la identificación de áreas críticas para mejoras de infraestructura y la implementación de sistemas de monitoreo automatizados para mejorar la eficiencia operativa.

Los componentes clave de estas mejoras de la infraestructura incluyen la automatización de las estaciones de bombeo para mejorar el control y la confiabilidad del sistema en tiempo real, así como la instalación de fuentes de energía de reserva y otras redundancias para garantizar un funcionamiento ininterrumpido durante los cortes de energía o los casos de emergencia. Estas mejoras son críticas para prevenir averías en las estaciones de bombeo y reducir los incidentes de desbordamiento.

Además de las iniciativas de la AAA, existen retos similares con la infraestructura de servicios públicos manejada por empresas privadas, que no han sido tan bien documentados como los problemas del sistema de la AAA. Atender estas necesidades de infraestructura a través de mejoras específicas es vital para reducir las descargas de aguas sanitarias crudas en el EBSJ, mejorar la calidad general del agua y salvaguardar la salud pública.

Figura1 . Zonas sin alcantarillado en la subcuenca Juan Méndez

Figura2 . Zonas sin alcantarillado en la cuenca del EBSJ

Actividades

Actividad	Métricas de cumplimiento	Metas	Parte(s) interesada(s) y socio(s) responsable(s)	Estatus	Periodo de tiempo	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Eliminar los desbordamientos y derivaciones mediante un funcionamiento y mantenimiento adecuados de los sistemas.	Mejora del sistema de colección y del mantenimiento de las estaciones de bombeo para reducir las descargas.	Reducción del número de incidentes de desbordamiento al año.	Líder: AAA Socio ejecutivo: DRNA	En curso	5+ años	\$200 millones	AAA, Fondo Rotatorio Estatal
2. Identificar y trabajar con las empresas privadas de servicios públicos para mejorar los sistemas privados de recolección y tratamiento de aguas sanitarias.	Mejora del sistema de colección y mantenimiento de las estaciones de bombeo para reducir las descargas.	Se establecerán asociaciones con empresas privadas para reducir las descargas.	Líder: Empresas privadas de servicios públicos Socios ejecutivos: USEPA, Estuario	Pendiente	0-2 años	A determinarse	USEPA, Fondo Rotatorio Estatal
3. Identificar y abordar las ubicaciones de los desagües de alcantarillado no regulados o no autorizados.	Reducir los contaminantes de las aguas sanitarias en los desagües pluviales.	Reducción de las concentraciones de contaminantes en los desagües combinados.	Líder: DRNA Socio ejecutivo: USEPA	Pendiente	0-2 años	A determinarse	USEPA, Fondo Rotatorio Estatal
4. Fiscalización para identificar descargas sanitarias no autorizadas.	Reducir el número de descargas al sistema del estuario.	Lograr el cumplimiento mediante medidas de fiscalización y penalidades.	Líder: DRNA Socio ejecutivo: USEPA	En curso	De 3 a 5 años	Tiempo del personal de las entidades responsables	USEPA
5. Fiscalización específica en las zonas identificadas como "críticas" o "deterioradas", especialmente en el EBSJ.	Número de programas de fiscalización aplicados en las zonas críticas o deterioradas identificadas.	Poner en marcha y completar programas de fiscalización en las zonas críticas designadas.	Líderes: AAA, empresas privadas de servicios públicos Socios ejecutivos: DRNA, USEPA	Pendiente	3-5 años	A determinarse	USEPA, Fondo Rotatorio Estatal
6. Priorizar la corrección de sitios de contaminación no resueltos o de alto riesgo como la quebrada Juan Méndez (norte), El Cinco, Fairview (calle 16) y Country Club.	Identificación y priorización de áreas de contaminación de alto riesgo para su remediación.	Desarrollar y aprobar planes de remediación para las áreas priorizadas, iniciando acciones correctivas.	Líder: AAA, empresas privadas de servicios públicos Socios ejecutivos: DRNA, USEPA	Pendiente	3-5 años	A determinarse	USEPA, Fondo Rotatorio Estatal

Actividad	Métricas de cumplimiento	Metas	Parte(s) interesada(s) y socio(s) responsable(s)	Estatus	Periodo de tiempo	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
7. Garantizar la existencia de redundancias en el sistema para mejorar el rendimiento.	Número de redundancias incorporadas al sistema para mejorar la confiabilidad y el rendimiento, como la automatización y el respaldo eléctrico.	Diseño e implantación de redundancias que cubran los componentes críticos del sistema.	Líderes: AAA, empresas privadas de servicios públicos Socios ejecutivos: DRNA, USEPA	Pendiente	3-5 años	A determinarse	USEPA, Fondo Rotatorio Estatal
8. Facilitar el debate y la participación en el Grupo de Trabajo IDDE.	Número de reuniones del IDDE Task Force celebradas y nivel de participación de las partes interesadas.	Celebración de reuniones del grupo operativo sobre IDDE.	Líder: Estuario Socios ejecutivos: AAA, DRNA, USEPA, municipios, academia	Pendiente	0-2 años	A determinarse	USEPA

Requisitos reglamentarios y de política pública

El tratamiento y la descarga de aguas sanitarias están reguladas por el programa de permisos NPDES, la Ley de Agua Limpia y las normas y reglamentos aplicables de la AAA. Las descargas no autorizadas de aguas sanitarias crudas y los desvíos hacia cuerpos de agua superficiales resultan en una violación de los estándares de calidad del agua del DRNA. Se debe desarrollar un plan y fiscalizar su cumplimiento.

WS-04 Eliminar las descargas sanitarias residenciales y comerciales ilegales al sistema de alcantarillado pluvial.

Referencias

Estuario ha financiado un proyecto para identificar y atender descargas críticas de alcantarillado sanitario dentro de la cuenca del EBSJ. La fase de reconocimiento de este proyecto comenzó en 2016, la fase de diagnóstico comenzó en noviembre de 2019 y está programada hasta septiembre de 2025. Este proyecto es vital para lograr esta acción en un área de estudio que está fuertemente impactada por el desarrollo urbano y las descargas ilegales de aguas sanitarias.

El proyecto incluye una evaluación exhaustiva de casi 200 estaciones de diagnóstico ubicadas en toda el área de estudio. Estas estaciones evalúan indicadores de nutrientes como el fósforo disuelto, el amonio disuelto y el nitrato, todos ellos descargas habituales de efluentes de alcantarillado sanitario en una cuenca urbana. El seguimiento de estos nutrientes es una acción crítica, ya que los niveles elevados de estos nutrientes identificados en las vías fluviales pueden causar eutrofización, lo que lleva a floraciones de algas nocivas (HAB) que pueden agotar los niveles de oxígeno y afectar negativamente a la vida acuática.

Hasta septiembre de 2024, se habían recogido y analizado más de 6,300 muestras, lo que ha proporcionado un conjunto de datos que permite identificar los puntos conflictivos de la cuenca en los que las descargas ilegales de aguas sanitarias son más frecuentes (Rodríguez, 2025). Esta información ha sido fundamental para determinar la ubicación exacta de las descargas ilegales de aguas sanitarias, lo que ha permitido a las entidades tomar medidas correctivas eficaces.

307 En última instancia, el éxito de la eliminación de las descargas ilegales de aguas sanitarias comerciales y
308 residenciales se basa en un enfoque multifacético que combina el monitoreo rutinario, la participación y la
309 educación de la comunidad, la fiscalización regulatoria y las mejoras de la infraestructura.

310 **Actividades**

Actividad	Métricas de cumplimiento	Metas	Parte(s) interesada(s) y socio(s) responsable(s)	Estatus	Periodo de tiempo	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Identificar todas las conexiones sanitarias residenciales, comerciales e industriales al sistema de alcantarillado pluvial que eventualmente descargan en el EBSJ.	Mejorar la notificación y el seguimiento de las descargas ilícitas.	Documentar y cartografiar las conexiones sanitarias identificadas al sistema de alcantarillado pluvial.	Líderes: DRNA, Departamento de Transportación y Obras Públicas de Puerto Rico (DTOP) Socios ejecutivos: municipios, AAA	En curso	0-2 años	Tiempo de personal de las entidades responsables	DRNA, municipios, AAA, USEPA, Fondo Rotatorio Estatal
2. Conectar las descargas ilícitas al sistema de alcantarillado sanitario.	Reducir el número de descargas ilícitas.	Identificar a los infractores y conectarlos al sistema de alcantarillado sanitario.	Líderes: AAA, municipios Socios ejecutivos: DRNA, DTOP	En curso	0-2 años	A determinarse	DRNA, municipios, AAA, Fondo Rotatorio Estatal
3. Llevar a cabo medidas de fiscalización para los infractores que no se conecten.	Reducir el número de descargas ilícitas.	Implantar medidas coercitivas contra los infractores.	Líderes: DRNA, USEPA Socios ejecutivos: AAA, municipios	En curso	0-2 años	Tiempo del personal de las entidades responsables	DRNA, USEPA
4. Construir sistemas de alcantarillado sanitario en áreas de alto riesgo no atendidas, utilizando datos de ubicación de descargas.	Número de sistemas de alcantarillado sanitario construidos en áreas identificadas de alto riesgo sin servicio.	Construcción completa en áreas de alto riesgo.	Líderes: DTOP, municipios, AAA Socio ejecutivo: DRNA	Pendiente	5+ años	A determinarse	DRNA, municipios, AAA, Fondo Rotatorio Estatal

311 **Requisitos reglamentarios y de política pública**

312 Las descargas no autorizadas de aguas sanitarias crudas y los desvíos a cuerpos de agua superficiales
313 resultan en una violación de los estándares de calidad del agua del DRNA y las disposiciones aplicables, los
314 permisos NPDES, la Ley de Agua Limpia y las normas y reglamentos aplicables de la AAA. Se debe
315 desarrollar un plan y fiscalizar su cumplimiento.

316 ****NUEVA-1*** Desarrollar e implantar un plan de manejo de aguas sanitarias para la región metropolitana de San Juan.*

317 **Referencias**

318 La región metropolitana de San Juan enfrenta retos significativos relacionados con el manejo de aguas
319 sanitarias que surgen de la infraestructura obsoleta, la creciente densidad poblacional y las presiones
320 ambientales. El sistema de infraestructura de aguas sanitarias de la región incluye plantas de tratamiento,
321 redes de alcantarillado y puntos de descarga que requieren una evaluación y modernización exhaustiva

322 para satisfacer las demandas actuales y futuras, a la vez que se garantiza el cumplimiento con las
323 regulaciones ambientales y se protege la salud pública (AAA, 2020).

324 La AAA, como agencia principal responsable de los servicios de aguas usadas en la región, reconoce la
325 urgente necesidad de modernizar y optimizar la capacidad e infraestructura de tratamiento de aguas
326 usadas. El Plan Estratégico 2020-2025 de la AAA presenta las prioridades clave para mejorar la confiabilidad
327 del servicio, avanzar en el cumplimiento reglamentario e implementar prácticas sostenibles de manejo de
328 aguas sanitarias. Enfatiza la importancia de la planificación integrada, la rehabilitación de la infraestructura
329 y la participación de la comunidad para enfrentar los desafíos de las aguas sanitarias de manera holística
330 (AAA, 2020).

331 El desarrollo de un plan integral de manejo de aguas sanitarias para la región metropolitana de San Juan es
332 crítico para avanzar hacia estas metas. Dicho plan proveerá un marco estratégico para evaluar las plantas
333 de tratamiento existentes, identificar brechas en la infraestructura y priorizar inversiones en mejoras y
334 expansiones. Además, incorporará estrategias de reducción de la contaminación, medidas de cumplimiento
335 de la reglamentación y protocolos de respuesta ante emergencias para mejorar la resistencia del sistema y
336 la protección del medioambiente.

337 La aplicación efectiva del plan de manejo de aguas sanitarias contribuirá a mejorar la calidad del agua en el
338 EBSJ y los ecosistemas circundantes, reducirá los riesgos para la salud pública y reforzará la capacidad de la
339 región para adaptarse a fenómenos meteorológicos extremos. El seguimiento continuo y el manejo
340 adaptativo serán necesarios para seguir los avances, identificar los retos y actualizar las estrategias para
341 garantizar la sostenibilidad a largo plazo.

342 Esta acción se alinea con objetivos regionales y de agencias más amplios para restaurar la salud del
343 estuario, salvaguardar el bienestar de la comunidad y promover el desarrollo urbano sostenible a través de
344 un manejo adecuado de las aguas sanitarias.

345 **Actividades**

Actividad	Métricas de cumplimiento	Metas	Parte(s) interesada(s) y socio(s) responsable(s)	Estatus	Periodo de tiempo	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Evaluar el sistema existente de aguas sanitarias y su manejo para identificar y priorizar los retos y oportunidades.	Finalización de un informe de evaluación exhaustivo en el que se detallen la infraestructura de aguas sanitarias, la capacidad de tratamiento y los lugares de descargas.	Finalización de la evaluación de la infraestructura existente.	Líder: AAA Socios ejecutivos: DRNA, municipios, empresas privadas, organismos reguladores.	Pendiente	0-2 años	A determinar se	USEPA, DRNA, municipios

Actividad	Métricas de cumplimiento	Metas	Parte(s) interesada(s) y socio(s) responsable(s)	Estatus	Periodo de tiempo	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
2. Desarrollar un plan de manejo de aguas sanitarias que incluya mejoras a la infraestructura, medidas de cumplimiento reglamentario, estrategias de reducción de contaminación y protocolos de respuesta a emergencias.	Finalización de un plan integral de manejo de las aguas sanitarias que aborde las mejoras, el cumplimiento de la normativa, la reducción de la contaminación y la respuesta ante emergencias.	Elaboración y aprobación del plan de manejo de las aguas sanitarias.	Líder: AAA Socios ejecutivos: DRNA, municipios, empresas privadas de servicios públicos, organismos reguladores.	Pendiente	3-5 años	A determinar se	USEPA, DRNA, municipios
3. Establecer protocolos de monitoreo para rastrear el progreso, identificar retos y actualizar el plan según sea necesario.	Implantación de protocolos de seguimiento con recopilación periódica de datos y elaboración de informes.	Se establecerán protocolos y se revisarán los avances.	Líder: AAA Socios ejecutivos: DRNA, municipios, empresas privadas de servicios públicos, agencias reguladoras.	Pendiente	0-2 años	A determinar se	USEPA, DRNA, municipios

Requisitos reglamentarios y de política pública

Es necesario cumplir con los permisos NPDES y los estándares de calidad del agua del DRNA. Además, la alineación con los objetivos estratégicos de la AAA y la coordinación con la planificación municipal y las políticas de salud pública son esenciales para garantizar la disciplina reglamentaria y la integración efectiva de las políticas.

****NUEVA-2* Implantar una modernización integral de las plantas de tratamiento de aguas sanitarias existentes para mejorar la eliminación de nutrientes y asegurar el cumplimiento con los estándares reglamentarios.***

Referencias

Las plantas de tratamiento de aguas sanitarias de Puerto Rico, en particular las que dan servicio a la cuenca del EBSJ, desempeñan un papel vital en el manejo de descargas de efluentes y la protección de la calidad del agua. Sin embargo, muchas de estas plantas de tratamiento se construyeron originalmente con una capacidad limitada de eliminación de nutrientes, lo que ha contribuido a elevar los niveles de nitrógeno y fósforo en las aguas receptoras. Además, el crecimiento de la población no se contempló en el diseño original para manejar el aumento de las aguas sanitarias. El exceso de nutrientes promueve la eutrofización, dañando los ecosistemas acuáticos, reduciendo la biodiversidad y perjudicando los usos recreativos y económicos de los cuerpos de agua (Estuario, 2000).

La AAA, junto con operadores municipales y privados, opera la mayoría de las plantas de tratamiento. Aunque se han llevado a cabo mejoras y mantenimiento, la infraestructura obsoleta y el crecimiento demográfico siguen poniendo a prueba la capacidad y eficacia de las instalaciones existentes. La mejora de la eliminación de nutrientes mediante la modernización integral es esencial para cumplir las normas medioambientales modernas y salvaguardar la cuenca del EBSJ.

367 Como se ha mencionado anteriormente, Puerto Rico se beneficia de una disposición reglamentaria única en
368 virtud de la sección 301(h) de la Ley de Agua Limpia, que permite a ciertas comunidades costeras operar
369 plantas de tratamiento de aguas sanitarias con estándares de tratamiento primario en lugar de tratamiento
370 secundario completo. Esta dispensa reconoce las limitaciones geográficas, económicas y de infraestructura
371 específicas de la isla. A pesar de esta dispensa, los esfuerzos actuales se centran en mejorar la eliminación
372 de nutrientes y el rendimiento general del tratamiento para proteger la calidad del agua y cumplir con los
373 permisos y reglamentos aplicables.

374 Las adaptaciones integrales implican la identificación sistemática de las deficiencias en la eliminación de
375 nutrientes, el diseño de las mejoras de la planta, la obtención de financiamiento y las aprobaciones
376 normativas necesarias, además de la ejecución de las obras manteniendo la capacidad de tratamiento. Este
377 enfoque por fases garantiza una interrupción mínima del servicio y maximiza los beneficios
378 medioambientales. La aplicación satisfactoria de estas mejoras es fundamental para reducir la
379 contaminación por nutrientes, mejorar la salud del ecosistema y cumplir los objetivos de calidad del agua
380 del EBSJ y de Puerto Rico en general.

381 **Actividades**

Actividad	Métricas de cumplimiento	Metas	Parte(s) interesada(s) y socio(s) responsable(s)	Estatus	Periodo de tiempo	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Identificar las deficiencias de las plantas de tratamiento actuales en cuanto a la capacidad de eliminación de nutrientes y las áreas que necesitan mejoras.	Realización de un informe de evaluación que identifique las deficiencias en la eliminación de nutrientes y las necesidades de mejora en las plantas de tratamiento.	Evaluación completa de todas las plantas de tratamiento identificadas.	Líder: AAA Colaboradores en la ejecución: empresas privadas de servicios públicos, agencias reguladoras	Pendiente	0-2 años	A determinarse	USEPA, DRNA, municipios, empresas privadas de servicios públicos
2. Desarrollar diseños de retroadaptación y colaborar con las partes interesadas para garantizar el financiamiento y las aprobaciones reglamentarias.	Finalización de los planes de diseño de adaptación y obtención de financiamiento y los permisos reglamentarios necesarios.	Finalización de los diseños y obtención del financiamiento y los permisos necesarios.	Líder: AAA Asociados en la ejecución: empresas privadas de servicios públicos, organismos reguladores	Pendiente	3-5 años	A determinarse	USEPA, DRNA, municipios, empresas privadas de servicios públicos
3.Desarrollar la construcción por fases, minimizar las interrupciones del servicio y mantener la capacidad de tratamiento durante la construcción.	Finalización de las fases de construcción según lo programado con interrupciones mínimas del servicio y manteniendo la capacidad de tratamiento.	Completar cada fase de construcción limitando las interrupciones del servicio.	Líder: AAA Asociados en la ejecución: empresas privadas de servicios públicos, agencias reguladoras	Pendiente	5+ años	A determinarse	USEPA, DRNA, municipios, empresas privadas de servicios públicos

Actividad	Métricas de cumplimiento	Metas	Parte(s) interesada(s) y socio(s) responsable(s)	Estatus	Periodo de tiempo	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
4. Supervisar la eficacia de las adaptaciones e identificar y atender continuamente la necesidad de adaptaciones adicionales.	Mejora de la calidad del agua mediante la modernización continua.	Se determinará la eficacia de los proyectos y se determinarán las necesidades de proyectos adicionales.	Líder: AAA Asociados en la ejecución: empresas privadas de servicios públicos, agencias reguladoras	Pendiente	5+ años	A determinarse	USEPA, DRNA, municipios, empresas privadas de servicios públicos

Requisitos reglamentarios y de política pública

Es necesario cumplir con los permisos NPDES y los estándares de calidad del agua del DRNA. Además, la alineación con los objetivos estratégicos de la AAA y la coordinación con la planificación municipal y las políticas de salud pública son esenciales para garantizar la disciplina reglamentaria y la integración eficaz de las políticas.

****NUEVA-3* Colaborar con la industria local para mejorar la infraestructura de aguas sanitarias y los niveles de tratamiento utilizando la mejor tecnología disponible.***

Referencias

La USEPA ha reconocido que la industria del agua y de las aguas sanitarias se enfrenta a importantes retos para mantener unos recursos hídricos seguros y sostenibles. Estos retos incluyen la disminución de la disponibilidad y la calidad de los recursos hídricos, el crecimiento de la población, los contaminantes emergentes, la infraestructura obsoleta y los impactos de los fenómenos extremos relacionados con las precipitaciones, la temperatura y las inundaciones (USEPA, 2021). Para ayudar a abordar estos desafíos, la USEPA llevó a cabo un proyecto de evaluación de seis estudios de caso de innovaciones recientes en el tratamiento municipal de eliminación de nutrientes. Este proyecto se centró en tecnologías innovadoras y mejoras de procesos diseñadas para intensificar significativamente el tratamiento, superar los diseños convencionales y mejorar la eliminación de nitrógeno y fósforo total (USEPA, 2021).

La presencia de contaminantes de interés emergente (CEC) crea una capa adicional de complejidad en el manejo de las aguas sanitarias. Un estudio reciente en el sistema del EBSJ detectó 64 sustancias químicas, incluidos 51 productos farmacéuticos y de cuidado personal y 12 hormonas diferentes, y algunas sustancias químicas mostraron una frecuencia de detección del 100 % en todos los lugares de muestreo (Rodríguez-Sierra et al, 2025). La inundación de aguas sanitarias se identificó como la fuente de CEC, basándose en determinados indicadores de aguas sanitarias. Esto pone de relieve la necesidad de mejorar las tecnologías de tratamiento de aguas sanitarias y los sistemas de recolección para eliminar estos contaminantes de forma eficaz.

Para apoyar el ecosistema del EBSJ y las comunidades locales, será crucial colaborar con la industria para identificar posibles tecnologías de tratamiento y métodos para mejorar la infraestructura existente. La participación de la industria local puede facilitar la adopción de las mejores tecnologías disponibles que optimicen los procesos de tratamiento de las aguas sanitarias. Las consecuencias de estos contaminantes

requieren un estudio más profundo, y será necesario desarrollar soluciones innovadoras para superar los retos actuales y futuros del manejo de las aguas sanitarias (Rodríguez-Sierra et al, 2025).

Actividades

Actividad	Métricas de cumplimiento	Metas	Parte(s) interesada(s) y socio(s) responsable(s)	Estatus	Periodo de tiempo	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Desarrollar asociaciones con la industria para identificar tecnologías viables de tratamiento de aguas sanitarias con mayor eficiencia de tratamiento.	Mejora del tratamiento de las aguas sanitarias.	Establecer asociaciones para identificar tecnologías de tratamiento innovadoras.	Líderes: AAA, empresas privadas de servicios públicos Socios ejecutivos: DTOP, industrias locales, Estuario	Pendiente	0-2 años	A determinarse	AAA, empresas privadas de servicios públicos, industrias locales
2. Implantar tecnologías identificadas con mayores niveles de tratamiento en las principales instalaciones de aguas sanitarias.	Mejora del tratamiento de las aguas sanitarias con la consiguiente reducción de los contaminantes descargados al sistema del EBSJ.	Instalación y funcionamiento de tecnologías de tratamiento.	Líderes: AAA, empresas privadas de servicios públicos Socios ejecutivos: DTOP, industrias locales	Pendiente	3-5 años	A determinarse	USEPA, Fondo Rotatorio Estatal, industrias locales
3. Modificar las normas de tratamiento de aguas sanitarias para exigir una mayor eliminación de contaminantes en zonas clave de la cuenca.	Mejora del tratamiento de las aguas sanitarias con la consiguiente reducción de los contaminantes descargados al sistema del EBSJ.	Revisar las normas actuales para exigir un aumento de la eficacia en la eliminación de contaminantes.	Líderes: DRNA, USEPA Socios ejecutivos: AAA, servicios públicos privados, DTOP	Pendiente	3-5 años	Tiempo del personal de las agencias reguladoras	DRNA, USEPA

Requisitos reglamentarios y de política pública

Modificación de los estándares locales para exigir mayores niveles de tratamiento de las aguas sanitarias y aplicación a través de los permisos NPDES de las instalaciones.

NUEVA-4 Realizar periódicamente talleres de formación para identificar y responder a descargas no autorizados, haciendo énfasis en la importancia de una respuesta y notificación rápidas.

Referencias

Las descargas no autorizadas en los cuerpos de agua suponen amenazas significativas para la salud ambiental y la seguridad pública. Por esto, es imperativo establecer talleres de formación eficaces para los miembros de la comunidad y las partes interesadas. Una iniciativa eficaz en este ámbito es la Certificación del Ciudadano Científico ofrecida por Estuario, que fomenta la colaboración entre científicos profesionales y

424 el público en general. Esta certificación capacita a los individuos para participar activamente en el
425 monitoreo y protección de sus ecosistemas locales, particularmente en el contexto de los ambientes únicos
426 de Puerto Rico (Estuario, 2025).

427 La Certificación de Ciudadano Científico enfatiza la importancia de la ciencia ciudadana en la producción y
428 aplicación del conocimiento científico. Al implicar a los miembros de la comunidad en el proceso científico,
429 los talleres de formación mejoran la comprensión de la biodiversidad local y los retos medioambientales.
430 Los participantes aprenden a identificar las descargas no autorizadas y a reaccionar ante ellas, lo que les
431 dota de las habilidades necesarias para vigilar la calidad del agua y notificar los problemas con prontitud
432 (Estuario, 2025).

433 Existe una necesidad apremiante de mejorar el seguimiento y la notificación de las descargas de aguas
434 sanitarias en Puerto Rico. Un estudio realizado por Martínez et al. (2022) reveló que los sistemas de bombeo
435 de la AAA tienen un alto índice de derrames, y que solo se reporta el 60 % de los incidentes. Incluso cuando
436 no se reportan derrames oficialmente, se sabe que ocurren derrames, lo que indica brechas significativas
437 en la supervisión y el cumplimiento. El estudio puso de relieve también que la resolución de las descargas
438 en San Juan tarda más de 20 horas, uno de los tiempos de respuesta más largos de la isla, y aún así algunas
439 descargas notificadas siguen sin resolverse. Además, la ausencia de reportes de derrames de las estaciones
440 de bombeo de la AAA en 2020 plantea preocupaciones sobre la exactitud de los datos y la verdadera
441 frecuencia de los incidentes, lo que subraya la necesidad de mejorar los mecanismos de seguimiento.

442 **Actividades**

Actividad	Métricas de cumplimiento	Metas	Parte(s) interesada(s) y socio(s) responsable(s)	Estatus	Periodo de tiempo	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Elaborar un plan de formación para responder a los desbordamientos de aguas sanitarias y notificarlos.	Proceso definido para responder y notificar los desbordamientos de aguas sanitarias.	Formación del personal de respuesta y notificación de desbordamientos de aguas sanitarias.	Líder: DRNA, USEPA Socios ejecutivos: AAA, empresas privadas de servicios públicos, DTOP, Estuario	Pendiente	0-2 años	A determinarse	DRNA, USEPA
2. Colaborar con los servicios públicos y privados para llevar a cabo talleres.	Personal educado para rastrear mejor los desbordamientos de aguas sanitarias.	Se organizarán talleres anuales para mejorar el seguimiento de los desbordamientos de aguas sanitarias.	Líder: DRNA, USEPA Socios ejecutivos: AAA, empresas privadas de servicios públicos, DTOP, Estuario	Pendiente	3-5 años	A determinarse	DRNA, USEPA
3. Realizar un seguimiento de los cambios en la notificación de desbordamientos de aguas sanitarias para mejorar futuros talleres y evaluar la eficacia.	Reducir el número de desbordamientos de aguas sanitarias que no se notifican.	Disminuir el número de desbordamientos no notificados.	Líder: DRNA, USEPA Socios ejecutivos: AAA, empresas privadas de servicios públicos, DTOP, Estuario	Pendiente	3-5 años	A determinarse	DRNA, USEPA

Requisitos reglamentarios y de política pública

Ninguno.

NUEVA-5 *Crear y manejar un sistema público integrado para informar de la resolución de descargas ilícitas, en lugar de que cada agencia y municipio maneje el suyo en privado.*

Referencias

Las descargas ilícitas (descargas ilegales o no autorizadas de contaminantes en los sistemas de aguas pluviales y sanitarias) suponen una amenaza significativa para la calidad del agua y la salud pública en la cuenca del EBSJ. Estas descargas pueden introducir contaminantes nocivos, incluidos productos químicos peligrosos, patógenos y nutrientes, que degradan los ecosistemas acuáticos, comprometen las aguas recreativas y aumentan los riesgos para las comunidades circundantes (USEPA, 2021).

Actualmente, el manejo y resolución de las descargas ilícitas en Puerto Rico están fragmentados, con agencias individuales y municipios que operan sistemas de notificación y aplicación separados. Este enfoque descentralizado resulta a menudo en una recopilación de datos inconsistente, respuestas retrasadas y transparencia limitada, lo que dificulta la identificación y mitigación efectivas de las fuentes de contaminación. La falta de flujos de trabajo coordinados y de intercambio de datos merma la capacidad de los organismos reguladores y las partes interesadas para realizar un seguimiento exhaustivo de las descargas ilícitas y aplicar medidas correctivas oportunas.

Para hacer frente a estos retos, es fundamental establecer un sistema público integrado de notificación y manejo de descargas ilícitas. Este sistema unificaría los protocolos, agilizaría la coordinación entre organismos y facilitaría el intercambio de datos, mejorando la transparencia y la capacidad de respuesta. Además, implicar a los miembros de la comunidad como participantes activos en los esfuerzos de notificación puede ampliar las capacidades de detección y fomentar una mayor concienciación y administración pública.

La implementación de este sistema integrado requiere protocolos formalizados para la coordinación entre las agencias clave —incluyendo el DRNA, la USEPA, la AAA y las empresas privadas de servicios públicos— junto con acuerdos de intercambio de datos para permitir el intercambio de información sin fisuras. La divulgación comunitaria y la educación son esenciales para capacitar a los residentes en identificar y denunciar las descargas ilícitas, fortaleciendo así la aplicación de la ley y la protección de los recursos hídricos.

Este enfoque de colaboración se ajusta a las mejores prácticas de gobernanza ambiental y apoya los objetivos más amplios de Estuario de mejorar la calidad del agua y proteger la salud pública mediante la prevención y controles eficaces de la contaminación.

475 **Actividades**

Actividad	Métricas de cumplimiento	Metas	Parte(s) interesada(s) y socio(s) responsable(s)	Estatus	Periodo de tiempo	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Establecer protocolos y flujos de trabajo para la coordinación y respuesta entre agencias y socios.	Desarrollo y aplicación de protocolos y flujos de trabajo formales para la coordinación y respuesta entre agencias.	Aprobación de protocolos de coordinación con organismos clave.	Líder: Estuario Socios ejecutivos: DRNA, USEPA, AAA, DTOP, empresas privadas de servicios públicos, municipios.	Pendiente	0-2 años	A determinarse	DRNA, USEPA
2. Aplicar acuerdos de intercambio de datos entre agencias y socios para facilitar la transparencia y el seguimiento exhaustivo.	Número de acuerdos de intercambio de datos aplicados y activos entre agencias y socios.	Establecer acuerdos de intercambio de datos con agencias clave.	Líder: Estuario Socios ejecutivos: DRNA, USEPA, AAA, DTOP, empresas privadas de servicios públicos, municipios.	Pendiente	0-2 años	A determinarse	DRNA, USEPA
3. Diseñar, construir y probar el sistema público integrado y el panel de datos (<i>dashboard</i>).	Sistema mejorado para informar sobre descargas ilícitas.	Diseño aprobado, construcción finalizada, pruebas completadas y aplicación de las mejoras necesarias derivadas de las pruebas.	Líder: Estuario Socios ejecutivos: DRNA, USEPA, AAA, DTOP, empresas privadas de servicios públicos, municipios	Pendiente	0-2 años	A determinarse	DRNA, USEPA
4. Publicar el sistema con el <i>dashboard</i> en cada uno de los sitios web de las agencias participantes para apoyar la transparencia.	Compromiso público con el <i>dashboard</i> .	Sistema publicado.	Líder: Estuario Socios ejecutivos: DRNA, USEPA, AAA, DTOP, servicios públicos privados, municipios	Pendiente	3-5 años	A determinarse	DRNA, USEPA
5. Fomentar la participación de la comunidad en la presentación de informes sobre descargas ilícitas.	Número de miembros de la comunidad que participan en los esfuerzos de denuncia y los informes presentados sobre las descargas ilícitas.	Lanzar campañas de divulgación para aumentar las denuncias de descargas ilícitas.	Líder: Estuario Socios ejecutivos: DRNA, USEPA, AAA, empresas privadas de servicios públicos, grupos comunitarios, Estuario.	Pendiente	0-2 años	A determinarse	DRNA, USEPA

476 **Requisitos reglamentarios y de política pública**

477 Actualmente, cada agencia y municipio maneja sus querellas por separado. Sin embargo, los ciudadanos no
478 saben a qué agencia o municipio deben presentar la querella. El Servicio de Innovación y Tecnología de

Puerto Rico (PRITS, por sus siglas en inglés) podría desarrollar un sistema integrado para recibir, manejar y proveer actualizaciones sobre las querellas para reducir la confusión y adjudicar responsabilidad.

Referencias

Brown, E., Caraco, D., & Pitt, R. 2004. *Illicit Discharge Detection and Elimination: A Guidance Manual for Program Development and Technical Assessments*. USEPA.
https://www3.epa.gov/npdes/pubs/idde_manualwithappendices.pdf.

Bunch, B. W., C.F. Cerco, M. S. Dortch, B. H. Johnson y K. W. Kim. 2000. Hydrodynamic and water quality model study of San Juan Bay estuary. ERDC TR-00-1. U.S. Army Engineering Research and Development Center. Vicksburg, MS.

Plan Maestro de Infraestructura Integral del Caño Martín Peña. 2022.
https://issuu.com/canomartinpena/docs/20220902-plan_maestro_integral_infraestructura-re?fr=xKAE9_zU1NQ.

Estuario. Julio de 2000. Plan Integral de Conservación y Manejo, Capítulo Tercero: Plan de Acción de Calidad de Aguas y Sedimentos. <https://estuario.org/wp-content/uploads/2019/10/CHAP3.pdf>.

Estuario. 2025. Certificación de Científico Ciudadano. <https://estuario.org/cccl/>

Habel, S., Fletcher, C. H., Barbee, M. M., & Fornace, K. L. 2024. Hidden Threat: The Influence of Sea-Level Rise on Coastal Groundwater and the Convergence of Impacts on Municipal Infrastructure. *Annual review of marine science*, 16, 81-103. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-020923-120737>.

Manrique Hernández, H. 2020. Presencia de *Enterococcus* sp. en la reserva natural estuarina de la Laguna del Condado y su relación con eventos de precipitación. Páginas 22-27 en Programa del Estuario de la Bahía de San Juan, editor. Diagnóstico de vulnerabilidad de la cuenca y el sistema del estuario de la bahía de San Juan ante el impacto de huracanes. Programa del Estuario de la Bahía de San Juan, San Juan, PR.

Martínez, G. A. 2024. Implantación de una Estrategia de Restauración de la Calidad del Agua en el Estuario de la Bahía de San Juan y la Zona Tributaria del Estuario del Río Grande de Loíza (Debajo de la Represa) (Fase II). Informe de Progreso que Abarca el Período del 1 de noviembre de 2019 al 30 de septiembre de 2024. Corporación para la Conservación del Estuario de la Bahía de San Juan, EBSJ Contrato Número C-72-250-03.

Martínez, G. A., M. A. Vázquez e Y. Bermúdez. 2022. Evaluación de los informes de derrames no anticipados de las estaciones de bombeo sanitario de la AAA 2016-2021. Colegio de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Puerto Rico, Mayagüez, PR.

Ortiz Zayas, J. R., E. Cuevas, O. L. Mayol Bracero, L. Donoso, I. Trebs, D. Figueroa Nieves y W. H. McDowell. 2006. Influencias urbanas en el ciclo del nitrógeno en Puerto Rico. *Biogeoquímica* 79:109-133.

AAA. Programa de Mejoras Capitales - Mapa Interactivo. 2025.
<https://www.acueductos.pr.gov/infraestructura/programa-de-mejoras-capitales>

AAA. 2020. Plan Estratégico Quinquenal 2021-2025.
<https://docs.pr.gov/files/AAA/Nuestra%20AAA/Documentos/AAA%20Strategic%20Plan%202020-2025.pdf>.

- 515 AAA. Decreto de Consentimiento (Estados Unidos de América v. Autoridad de Acueductos y Alcantarillados
516 de Puerto Rico). 10 de mayo de 2016.
- 517 AAA. Análisis de vulnerabilidad al cambio climático. Septiembre 2014.
518 [https://docs.pr.gov/files/AAA/Infraestructura/Documentos/Estudio%20de%20vulnerabilidad%20\(PDF%20-](https://docs.pr.gov/files/AAA/Infraestructura/Documentos/Estudio%20de%20vulnerabilidad%20(PDF%20-%2033M).pdf)
519 [%2033M\).pdf](https://docs.pr.gov/files/AAA/Infraestructura/Documentos/Estudio%20de%20vulnerabilidad%20(PDF%20-%2033M).pdf)
- 520 Rodríguez-Sierra, C.J., Mansilla-Rivera, I., & Bauzá-Ortega, J.F. 2025. Muestreo pasivo de contaminantes de
521 preocupación emergente en un estuario urbano caribeño de Puerto Rico. *Boletín de contaminación marina*,
522 213, 117674.
- 523 Sepúlveda-Rivera, A. y J. Carbonell, 1988. Cangrejos-Santurce: Historia ilustrada de su desarrollo urbano
524 (1519-1950), Centro de Investigaciones. CARIMAR/Oficina Estatal de Preservación Histórica. 85 pp.
- 525 Vila Biaggi I. M. 2019. Plan de trabajo de localización de aguas urbanas del Caño Martín Peña. Caño Martín
526 Peña, San Juan, Puerto Rico.
- 527 Webb, R. M. T., y F. Gómez Gómez 1998. Estudio sinóptico de la calidad del agua y sedimentos del fondo.
528 Sistema estuarino de la Bahía de San Juan, Puerto Rico, diciembre 1994-julio 1995. Water Resources
529 Investigations Report 97-4144. U.S. Geological Survey, San Juan, PR.
- 530 USACE. 2016. Informe final de viabilidad: Proyecto de Restauración del Ecosistema Caño Martín Peña.
531 Febrero de 2016.
- 532 USEPA. 2025. Soluciones de agua limpia para las comunidades aisladas de Puerto Rico.
533 <https://www.epa.gov/water-research/clean-water-solutions-puerto-ricos-isolated-communities>.
- 534 USEPA. 2023. EPA Requiere que la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados de Puerto Rico Actualice la
535 Infraestructura de Alcantarillados bajo Acuerdo Modificado. Consultado en:
536 [https://www.epa.gov/newsreleases/epa-requires-puerto-rico-aqueduct-and-sewer-authority-upgrade-](https://www.epa.gov/newsreleases/epa-requires-puerto-rico-aqueduct-and-sewer-authority-upgrade-sewage-infrastructure)
537 [sewage-infrastructure](https://www.epa.gov/newsreleases/epa-requires-puerto-rico-aqueduct-and-sewer-authority-upgrade-sewage-infrastructure).
- 538 USEPA. 2021. Innovative Nutrient Removal Technologies: *Case Studies Of Intensified or Enhanced Treatment* .
539 Office of Water. Office of Wastewater Management, Water Infrastructure Division, Sustainable Communities
540 and Infrastructure Branch. EPA 830-R-01-001.
- 541 USEPA. 2021. Hoja Informativa Planta Regional de Tratamiento de Aguas Sanitarias de Puerto Nuevo.
- 542 USEPA. 2021. AAA Hoja Informativa de la Planta Regional de Tratamiento de Aguas Sanitarias de Bayamón.
- 543 USEPA. 2021. *Using Nationwide and Local Data Sources to Address Decentralized Wastewater Infrastructure*
544 *Challenges in the Contiguous U.S. and the Caribbean*. [https://www.epa.gov/system/files/documents/2021-](https://www.epa.gov/system/files/documents/2021-10/using-data-to-address-decentralized-ww-infrastructure-challenges.pdf)
545 [10/using-data-to-address-decentralized-ww-infrastructure-challenges.pdf](https://www.epa.gov/system/files/documents/2021-10/using-data-to-address-decentralized-ww-infrastructure-challenges.pdf)
- 546 USEPA. 2020. Hoja Informativa Planta Regional de Tratamiento de Aguas Sanitarias de Carolina.
- 547 USEPA. Febrero de 2019. Iniciativa de la EPA promueve sistemas sépticos más fuertes y efectivos en el
548 Caribe. [https://www.epa.gov/archive/epa/newsreleases/epa-initiative-promotes-stronger-more-effective-](https://www.epa.gov/archive/epa/newsreleases/epa-initiative-promotes-stronger-more-effective-septic-systems-caribbean.html)
549 [septic-systems-caribbean.html](https://www.epa.gov/archive/epa/newsreleases/epa-initiative-promotes-stronger-more-effective-septic-systems-caribbean.html).

550 USEPA. Junio de 2011. Documento de Decisión: Analysis of the Section 301(h) Modification of Secondary
551 Treatment Applications for the Bayamon and Puerto Nuevo Regional Wastewater Treatment Plants.
552 https://www3.epa.gov/region02/water/7-1-2011-Dcision_Document.pdf.

Infraestructura de aguas pluviales

Base científica

La escorrentía de aguas pluviales, ya sea de eventos climáticos extremos o de lluvias típicas, tiene un impacto en el sistema del EBSJ. El uso y la cobertura del suelo urbano son intrínsecos al manejo y la generación de las aguas de escorrentía pluvial. Según Webb y Gómez Gómez (1998), aproximadamente el 60 % de las precipitaciones de la región se convierten en escorrentía que desemboca en el estuario. Los sistemas de aguas pluviales en Puerto Rico son principalmente responsabilidad de los municipios; sin embargo, el DTOP y el DRNA desempeñan también funciones importantes en la planificación, regulación y mantenimiento de la infraestructura de aguas pluviales, particularmente en coordinación con las autoridades municipales y la AAA. Esta responsabilidad interagencial puede complicar los esfuerzos de manejo y mantenimiento debido a la superposición de jurisdicciones (Bauzá-Ortega, 2015).

[marcador de posición para una representación gráfica de cómo se maneja el sistema de aguas pluviales].

Figura3 . Manejo del sistema de aguas pluviales

La presencia de redes de tuberías combinadas de aguas sanitarias y pluviales presenta retos únicos. En un acuerdo alcanzado en el 2023, la AAA acordó aumentar la transparencia con el público en relación con los desbordamientos combinados de alcantarillado sanitario.

La cuenca del EBSJ es predominantemente urbana, con un 60.3 % clasificado como "suelo urbano" (Gobierno de Puerto Rico, 2015). Sin embargo, esta clasificación simplifica en exceso un problema mayor: el alto nivel de urbanización conduce a un aumento significativo de las superficies impermeables, como techos, carreteras y estacionamientos, que reducen drásticamente la infiltración natural y aumentan el volumen y la velocidad de la escorrentía de aguas pluviales. Esto intensifica los riesgos de inundación y acelera el transporte de contaminantes a los cuerpos de agua. Además, la infraestructura urbana carece a menudo de la capacidad o el diseño suficiente para manejar estos patrones hidrológicos alterados, lo que contribuye a frecuentes episodios de inundaciones y a la degradación del medioambiente (Santos Flores y Martínez-Rodríguez, 2020; Burgos-López, 2025). El alto nivel de urbanización resulta en altos volúmenes de escorrentía de aguas pluviales, particularmente en áreas como la laguna San José, donde cerca del 90 % de las entradas de agua dulce se atribuyen a la escorrentía urbana. (Santos Flores y Martínez-Rodríguez, 2020). Aproximadamente 70 % de la precipitación se convirtió en entradas de agua dulce a las lagunas La Torrecilla, San José y Piñones, lo que incrementó los niveles de los cuerpos de agua a tal punto que no regresaron a sus niveles normales durante el ciclo de medición.

Estos cuerpos de agua son sumideros de contaminantes de la cuenca y pueden exportar esos contaminantes durante eventos de alta precipitación y periodos de inversión de caudales. En concreto, durante los aguaceros fuertes y la inversión del flujo, estas lagunas y cuerpos de agua estuarinos pueden exportar nutrientes, patógenos, sedimentos y otros contaminantes acumulados río abajo hacia las aguas costeras y el océano Atlántico, afectando potencialmente a los ecosistemas marinos y a la calidad del agua costera. El proceso de exportación aumenta la extensión espacial de la contaminación más allá del estuario y puede causar HAB y otras alteraciones ecológicas en las zonas costeras (Ramírez et al., 2012). Comprender esta dinámica de los contaminantes es fundamental para un manejo eficaz de las cuencas hidrográficas y las costas.

La ciénaga Las Cucharillas, en Cataño, desempeña un papel en la protección contra las inundaciones y la mejora de la calidad del agua, actuando como una esponja para absorber altos niveles de escorrentía. La ciénaga está formada principalmente por humedales herbáceos, manglares y aguas abiertas. Su hidrología está influenciada por las aguas pluviales, los ciclos de las mareas y la escorrentía de las zonas urbanas y una estación de bombeo operada por el DRNA para minimizar las inundaciones durante los eventos de fuertes lluvias en las comunidades circundantes (Ramírez et al., 2012). Las obstrucciones y el refluo de aguas sanitarias sin tratar en los puntos de descarga pueden observarse cuando se producen fenómenos meteorológicos extremos e inundaciones (Bauzá-Ortega, 2015). Además, las inundaciones, exacerbadas por el desarrollo urbano, EBSJ la deforestación aguas arriba y la impermeabilización, además del aumento del nivel del mar, se han convertido en una gran preocupación en toda la cuenca del EBSJ. Una iniciativa clave para atender este problema es el Proyecto de Control de Inundaciones del Río Puerto Nuevo, que implica la canalización de más de 17 kilómetros del río Piedras en San Juan para reducir los riesgos de inundación en zonas densamente urbanizadas (USACE, 2023). Los proyectos de ingeniería para el control de inundaciones que combinan componentes estructurales y no estructurales son complementos vitales para los esfuerzos integrales del manejo de las aguas pluviales.

El desarrollo y los patrones de uso del suelo influyen significativamente en la generación de aguas pluviales y el transporte de contaminantes en la cuenca del EBSJ. La sustitución de las zonas naturales de infiltración por superficies impermeables, como techos y carreteras, agrava los volúmenes de escorrentía y la sedimentación, lo que provoca una mayor carga de contaminantes al estuario. Las herramientas de planificación actuales, como el Plan de Usos de Terrenos de Puerto Rico, no reconocen los beneficios hidrológicos y ecosistémicos de las superficies impermeables, categorizándolas uniformemente como "suelo urbano" (Burgos-López, 2025). Esta simplificación excesiva descuida su papel crítico en la infiltración de las aguas pluviales, el enfriamiento urbano y la exacerbación de los retos ambientales.

Además, hay zonas importantes dentro de la cuenca del EBSJ que carecen por completo de infraestructura adecuada. Estas zonas suelen depender de sistemas de drenaje informales o carecen de alternativas para el manejo de las aguas pluviales, lo que aumenta su vulnerabilidad en caso de lluvias torrenciales y fenómenos extremos. Sin una infraestructura adecuada, la escorrentía de las aguas pluviales puede desbordar las vías naturales de drenaje. Una infraestructura adecuada incluye canales de drenaje bien diseñados y mantenidos, alcantarillas, charcas de retención y desagües pluviales capaces de manejar los volúmenes de escorrentía locales. Las prácticas de mantenimiento insuficientes, como desatender el recogido de escombros, sedimentos y vegetación que pueden bloquear el drenaje y causar inundaciones localizadas, son también un problema para el manejo de las aguas pluviales. Un mantenimiento eficaz es esencial para garantizar que la infraestructura de aguas pluviales funcione correctamente y reduzca los riesgos de inundación (Bauzá-Ortega, 2015). Una infraestructura de aguas pluviales inadecuada no solo amenaza el equilibrio ecológico del EBSJ, sino que también plantea graves riesgos para la salud pública de las comunidades que dependen de los recursos hídricos de la cuenca para su esparcimiento y sustento.

Las prioridades jurídicas e institucionales que rigen la infraestructura de aguas pluviales en Puerto Rico se describen en los decretos de consentimiento para el Municipio de San Juan, el DTOP y el DRNA. Estos decretos de consentimiento establecen requisitos específicos destinados a mejorar el manejo de las aguas pluviales y garantizar el cumplimiento de los estándares federales de calidad del agua. Por ejemplo, el decreto de consentimiento para el Municipio de San Juan ordena la implementación de medidas para

reducir los desbordamientos combinados de alcantarillado, que impactan directamente la calidad de las aguas pluviales y la efectividad de la infraestructura (Decreto de Consentimiento, 2015).

La infraestructura de aguas pluviales de la cuenca del EBSJ se enfrenta a numerosos retos, agravados por la urbanización, los fenómenos extremos, la subida del nivel del mar y la complejidad de la reglamentación. Atender estos problemas requiere un enfoque integral que incorpore un mejor seguimiento, la participación de la comunidad y el cumplimiento de las políticas reguladoras.

Objetivos

- Eliminar las descargas ilícitas y reducir los sedimentos y contaminantes que llegan al sistema estuarino provenientes de la infraestructura de aguas pluviales.
- Restaurar y fortalecer la infraestructura verde para mejorar el manejo de las escorrentías pluviales.

Acciones

WS-01 Diseñar y construir un sistema de alcantarillado pluvial para las comunidades que bordean la sección este del Caño Martín Peña.

Referencias

Las comunidades que bordean la sección oriental del Caño Martín Peña, incluyendo Cantera, Barrio Obrero Marina, Buena Vista Santurce, Buena Vista Hato Rey, Israel y Bitumul, enfrentan retos significativos debido a la inadecuada infraestructura de drenaje. Estas zonas bajas sufren inundaciones frecuentes y severas, empeoradas por la ausencia de un sistema de recolección de aguas pluviales. Durante las inundaciones, los residentes a menudo se ven inundados por una peligrosa mezcla de aguas pluviales y sanitarias, lo que provoca graves problemas de salud pública.

El contexto más amplio del Distrito de Planificación Especial del Caño Martín Peña revela una necesidad crítica de mejorar el manejo de las aguas pluviales. El distrito sufre las condiciones degradadas de los canales y el desarrollo informal de la comunidad, que contribuyen a los problemas recurrentes de inundaciones. Muchas zonas carecen de sistemas formales de alcantarillado de aguas pluviales y tienen infraestructuras hidráulicas en mal estado, lo que provoca frecuentes inundaciones interiores y descargas directas de aguas sanitarias en los canales. Los sistemas existentes suelen estar obstruidos o funcionar de forma inadecuada, lo que supone riesgos adicionales para el medioambiente y la salud (Proyecto ENLACE, 2022).

Se ha desarrollado un modelo hidrológico-hidráulico (H-H) para evaluar las condiciones existentes, que indica que alrededor del 50 % del Distrito del Caño Martín Peña se encuentra dentro de la llanura de inundación anual del 1 % (Proyecto ENLACE, 2022). El modelo establece la urgencia de atender tanto los huracanes intensos como las frecuentes tormentas más pequeñas, que han sido pasadas por alto en los esfuerzos de planificación anteriores. La separación de las aguas sanitarias de las aguas pluviales es fundamental para mejorar el estado de las vías del agua y reducir los riesgos de inundación.

Es importante señalar que el dragado del Caño Martín Peña por sí solo no resolverá los problemas de inundaciones en las comunidades adyacentes. La mitigación de las inundaciones requiere un enfoque integral de manejo de las aguas pluviales urbanas que abarque mejoras en la infraestructura de

alcantarillado pluvial, la capacidad de drenaje y la planificación de toda la cuenca. Esta estrategia holística es esencial para reducir eficazmente el riesgo de inundaciones y mejorar la calidad del agua en todo el distrito.

A medida que los patrones climáticos extremos se vuelven más frecuentes, el diseño, la construcción y el mantenimiento de un sistema eficaz de aguas pluviales en estas comunidades será esencial para mejorar la resistencia a los riesgos de inundación, proteger la salud pública y garantizar la sostenibilidad del medioambiente. La estrategia de adaptación propuesta en el plan implanta un sistema integral de manejo de las aguas pluviales que atiende los retos específicos a los que se enfrentan estas comunidades, mejorando así la calidad de vida general y la salud ecológica de la región.

Se han logrado avances significativos hacia la obtención de esta acción, incluyendo el desarrollo de evaluaciones detalladas de la infraestructura de aguas pluviales, iniciativas de participación de la comunidad y la aplicación gradual de mejoras críticas alineadas con el plan maestro. Las primeras actividades se centraron en la cartografía de las zonas vulnerables y la priorización de las necesidades de infraestructura, que han evolucionado hacia esfuerzos coordinados con los organismos locales y las partes interesadas para avanzar en las fases de diseño, financiamiento y construcción. Esta evolución refleja un creciente reconocimiento de la complejidad de los retos que plantean las aguas pluviales y la necesidad de soluciones integradas. Los esfuerzos futuros seguirán construyéndose sobre estos cimientos para garantizar una reducción sostenible del riesgo de inundaciones y mejoras en la calidad del agua.

Actividades

Actividad	Métricas de cumplimiento	Metas	Parte(s) interesada(s) y socio(s) responsable(s)	Estatus	Periodo de tiempo	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Mejorar el sistema de aguas pluviales para las comunidades a lo largo de Caño Martín Peña para atender las necesidades de infraestructura previamente identificadas.	Reducción de contaminantes al sistema del EBSJ por escorrentía de aguas pluviales en estas comunidades.	Retroadaptar y completar los proyectos de aguas pluviales en las comunidades a lo largo del Caño Martín Peña.	Líder: AAA Socios ejecutivos : municipios, DTOP	En curso	5+ años	A determinarse	USEPA, Fondo Rotatorio Estatal, AAA, DRNA, municipios
2. Desarrollar un plan de manejo de aguas pluviales para la cuenca del EBSJ.	Identificación de zonas prioritarias para la mejora y construcción de infraestructura de aguas pluviales.	Determinación de las zonas prioritarias para las mejoras de la infraestructura.	Líder: Estuario Socios ejecutivos: DRNA, municipios, DTOP, academia, comunidad científica, grupos comunitarios.	Pendiente	3-5 años	A determinarse	USEPA, DRNA, municipios, DTOP

Actividad	Métricas de cumplimiento	Metas	Parte(s) interesada(s) y socio(s) responsable(s)	Estatus	Periodo de tiempo	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
3. Aplicar las recomendaciones prioritarias del plan de manejo de las aguas pluviales.	Mejora del manejo y el tratamiento de las aguas pluviales.	Llevar a cabo los proyectos prioritarios del plan de manejo de las aguas pluviales.	Líder: AAA Socios ejecutivos: DRNA, municipios, agencias reguladoras	Pendiente	5+ años	A determinarse	Fondo Rotatorio Estatal, USEPA, AAA, DRNA, municipios, DTOP

Requisitos reglamentarios y de política pública

Las descargas del sistema municipal de alcantarillado pluvial separado (MS4, por sus siglas en inglés) están regulados por la Ley de Agua Limpia. Conforme a esta Ley, la USEPA emitió reglamentos bajo el programa NPDES que pretenden minimizar, reducir, controlar y eliminar las descargas de aguas pluviales contaminadas a través de alcantarillas pluviales.

WS-01 Diseñar y construir un sistema de manejo de aguas pluviales para otras comunidades de la cuenca que carecen de la infraestructura adecuada.

Referencias

Las comunidades dentro de la región metropolitana de San Juan, que forman parte de la cuenca del EBSJ, se enfrentan a importantes retos debido a la inadecuada o inexistente infraestructura de aguas pluviales. Muchos barrios, especialmente los situados en zonas bajas o de rápida urbanización, carecen de sistemas de drenaje adecuados para manejar eficazmente la escorrentía de las aguas pluviales. Esta deficiencia provoca frecuentes inundaciones, daños materiales y mayores riesgos para la salud pública derivados de los contaminantes transmitidos por el agua durante los episodios de lluvia. Además, la ausencia de un manejo integral eficaz de las aguas pluviales aporta a la degradación de la calidad del agua en los cuerpos de agua locales, lo que a su vez repercute en el ecosistema más amplio del EBSJ.

El manejo de las aguas pluviales en la región ha estado históricamente fragmentado, con responsabilidades divididas entre varias agencias, incluyendo el DRNA, la AAA, el DTOP y los gobiernos municipales. La planificación, los retos de coordinación y las limitaciones de recursos han ralentizado el progreso en el desarrollo de soluciones integrales de drenaje, particularmente en las comunidades desatendidas (Bauzá-Ortega, 2015).

El manejo eficaz de las aguas pluviales requiere un enfoque holístico que integre infraestructura gris, como tuberías, alcantarillas y charcas de detención, con técnicas de infraestructura verde, incluyendo pavimento permeable, jardines de lluvia y humedales restaurados en toda la cuenca. Un enfoque integrado puede reducir los volúmenes de escorrentía, mitigar las inundaciones y mejorar la calidad del agua al potenciar la infiltración natural y la filtración de contaminantes (USEPA, 2021).

La acción propuesta se centra en la identificación sistemática de áreas prioritarias con las mayores vulnerabilidades de drenaje e inundaciones a través de evaluaciones detalladas de riesgos y análisis hidrológicos. La participación de las comunidades locales y las partes interesadas a lo largo de las fases de planificación y diseño garantiza que las soluciones sean contextualmente apropiadas, culturalmente

718 sensibles y cuenten con un amplio apoyo. Esta colaboración fomenta la administración comunitaria y
719 alienta el uso sostenible y el mantenimiento de la infraestructura de aguas pluviales (AAA, 2020).

720 Al diseñar y construir sistemas integrados de aguas pluviales adaptados a las necesidades específicas de
721 estas comunidades, esta acción tiene como objetivo reducir los riesgos de inundación, proteger la salud
722 pública y restaurar la integridad ecológica dentro de la región metropolitana de San Juan. Estos esfuerzos se
723 alinean con los objetivos regionales para mejorar la resiliencia y promover el desarrollo urbano sostenible
724 (AAA, 2020).

725 **Actividades**

Actividad	Métricas de cumplimiento	Metas	Parte(s) interesada(s) y socio(s) responsable(s)	Estatus	Periodo de tiempo	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Identificar las zonas prioritarias y analizar los patrones de drenaje y los riesgos de inundación.	Finalización de un informe de evaluación de riesgos en el que se identifiquen las zonas prioritarias con un análisis detallado de los patrones de drenaje y las vulnerabilidades frente a las inundaciones.	Finalización del análisis de las zonas prioritarias.	Líderes: DRNA, DTOP, municipios Socios ejecutivos: comunidad científica, grupos comunitarios	Pendiente	0-2 años	A determinarse	USEPA, DRNA, municipios, DTOP
2. Involucrar a los miembros de la comunidad y a las partes interesadas locales en el proceso de planificación y diseño.	Involucrar a los miembros de la comunidad y las partes interesadas locales en la identificación y priorización de los problemas de manejo de aguas pluviales en sus barrios, para informar a los esfuerzos de planificación y selección de sitios.	Involucrar a los miembros de la comunidad y a las partes interesadas.	Responsables: DRNA, DTOP, municipios Socios ejecutivos: comunidad científica, grupos comunitarios, Estuario	Pendiente	0-2 años	A determinarse	USEPA, DRNA, municipios, DTOP
3. Diseñar sistemas de aguas pluviales que incorporen infraestructura gris y verde.	Finalización de planes de diseño de sistemas integrados de aguas pluviales que combinen soluciones de infraestructura gris y verde.	Finalizar los diseños de las zonas prioritarias.	Responsables: DRNA, DTOP, municipios Socios ejecutivos: comunidad científica, grupos comunitarios	Pendiente	3-5 años	A determinarse	USEPA, DRNA, municipios, DTOP

Requisitos reglamentarios y de política pública

Se requiere la coordinación entre las agencias locales como el DRNA, la AAA, el DTOP y los gobiernos municipales para asegurar la alineación con la planificación regional, los reglamentos ambientales y las políticas de participación comunitaria.

****NUEVA* Diseñar y mejorar la infraestructura actual para apoyar el manejo de las aguas pluviales en la región metropolitana de San Juan.***

Referencias

La infraestructura de aguas pluviales en las zonas urbanas dentro de la cuenca del EBSJ se enfrenta a importantes desafíos debido a la infraestructura obsoleta y el colapso de sus componentes, la capacidad inadecuada, y el aumento de la vulnerabilidad a las inundaciones y la contaminación. Muchos de los sistemas existentes son anticuados e insuficientes para manejar los volúmenes actuales de aguas pluviales, sobre todo en el contexto del crecimiento urbano y los fenómenos meteorológicos extremos. En consecuencia, estas deficiencias contribuyen a las frecuentes inundaciones, daños a la propiedad, y el acarreo de contaminantes en los cuerpos de agua críticos, incluyendo el EBSJ (Bauzá-Ortega, 2015).

Atender estos retos requiere actualizaciones estratégicas y un enfoque integral para modernizar y mejorar la infraestructura de aguas pluviales existente. Esto implica evaluaciones exhaustivas para identificar los componentes obsoletos o defectuosos, las zonas propensas a las inundaciones y las fuentes de contaminación, seguidas de acciones prioritarias para actualizar y optimizar el rendimiento del sistema. Es importante que la participación de las comunidades y las partes interesadas a lo largo de todo el proceso garantice que los proyectos respondan a las necesidades locales y promuevan prácticas de manejo sostenibles (AAA, 2020).

Una estrategia integral que incluya tanto las mejoras tradicionales de la infraestructura gris como las soluciones de infraestructura verde que aumentan la infiltración de las aguas pluviales, reducen la escorrentía y abonan a los servicios del ecosistema apoyará la mitigación de las inundaciones, la mejora de la calidad del agua y fortalecerá la resiliencia de la cuenca urbana (USEPA, 2021).

El éxito de la aplicación depende de la colaboración eficaz entre organismos, la obtención de financiamiento adecuado y el cumplimiento con los marcos regulatorios que rigen el manejo de las aguas pluviales y la protección del medioambiente. La estrecha colaboración entre los organismos clave es fundamental para garantizar la coordinación de la planificación, aprobación y ejecución de los proyectos de rehabilitación (AAA, 2020).

Mediante la modernización sistemática de la infraestructura pluvial vulnerable en toda la región metropolitana de San Juan, esta acción pretende reducir los riesgos de inundación, minimizar las cargas de contaminantes y mejorar la salud general y la capacidad de recuperación de la cuenca.

759 **Actividades**

Actividad	Métricas de cumplimiento	Metas	Parte(s) interesada(s) y socio(s) responsable(s)	Estatus	Periodo de tiempo	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Evaluar la infraestructura existente para identificar deficiencias, componentes obsoletos y áreas propensas a inundaciones o contaminación.	Finalización de un informe detallado de evaluación de la infraestructura en el que se identifiquen las deficiencias, el envejecimiento de los componentes y las zonas vulnerables.	Finalizar la evaluación de toda la infraestructura crítica.	Responsables: DRNA, DTOP, municipios Socios ejecutivos: comunidad científica, grupos comunitarios	Pendiente	3-5 años	A determinarse	USEPA, DRNA, municipios, DTOP
2. Comunicarse con los miembros de la comunidad y las partes interesadas para priorizar los proyectos de modernización.	Número de actividades de comunicación realizadas y nivel de aportaciones de las partes interesadas recogidas para priorizar los proyectos de modernización.	Celebración de reuniones comunitarias y recogido de opiniones.	Responsables: DRNA, DTOP, municipios Socios ejecutivos: comunidad científica, grupos comunitarios, Estuario	Pendiente	0-2 años	A determinarse	USEPA, DRNA, municipios, DTOP
3. Garantizar el financiamiento y las aprobaciones reglamentarias para, a continuación, llevar a cabo la construcción y la instalación.	Cantidad de financiamiento asegurada y número de aprobaciones reglamentarias obtenidas para el desarrollo del proyecto.	Garantizar el financiamiento y las aprobaciones reglamentarias necesarias.	Responsables: DRNA, DTOP, municipios Socios ejecutivos: comunidad científica, grupos comunitarios	Pendiente	5+ años	A determinarse	USEPA, DRNA, municipios, DTOP

760 **Requisitos reglamentarios y de política pública**

761 Se deben implementar medidas regulares de monitoreo, preparación para emergencias y redundancia de
762 infraestructura para cumplir con los estándares regulatorios de desempeño y confiabilidad.

763 ****NUEVA*** Desarrollar e implementar un plan de manejo de aguas pluviales a nivel de cuenca para la región*
764 *metropolitana de San Juan.*

765 **Referencias**

766 La región metropolitana de San Juan se enfrenta a complejos retos de manejo de las aguas pluviales
767 agravados por la urbanización, infraestructura obsoleta y los fenómenos meteorológicos extremos. El
768 manejo eficaz de las aguas pluviales es esencial para reducir la escorrentía, las inundaciones, mejorar la
769 calidad del agua y proteger la salud pública y los ecosistemas dentro de esta cuenca altamente urbanizada.
770 Un plan integral para el manejo de aguas pluviales (SWMP, por las siglas en inglés) es fundamental para
771 atender estos retos de forma sistemática y sostenible.

Uno de los fenómenos hidrológicos únicos de la región es la inversión del flujo, en la que el agua fluye hacia atrás a través de los canales de aguas pluviales y sanitarias, lo que agrava las inundaciones y deteriora la calidad del agua. Comprender las causas, la frecuencia y el impacto de las inversiones de flujo es un paso esencial para un manejo informado y para la planificación y el diseño de infraestructura. Este estudio proporcionará recomendaciones prácticas para prevenir y mitigar estos problemas y mejorar la resiliencia (DRNA, 2016).

Los mapas de drenaje precisos y actualizados y los datos sobre la ocupación del suelo son herramientas vitales para la planificación de las aguas pluviales. El plan incorporará mapas de drenaje actualizados, evaluará y validará la información de la cubierta terrestre, con el potencial de aprovechar los recursos existentes, como el mapa de la cubierta terrestre desarrollado para el Estudio de Valoración Económica y el Proyecto de Análisis de Brechas de Puerto Rico. Estas capas de datos apoyarán la modelización precisa del flujo de aguas pluviales, la identificación de zonas vulnerables y la priorización de las inversiones en infraestructura.

La participación de las partes interesadas es esencial para el éxito del desarrollo y la aplicación del plan. La colaboración entre el DRNA, la AAA, el DTOP, los municipios, la comunidad científica y los residentes garantizará que el plan refleje las diversas necesidades y asegure los compromisos necesarios para la acción.

El SWMP se alinearán con el Plan Comprensivo de Puerto Rico para el Manejo de los Recursos Hídricos, integrando marcos regulatorios tales como los permisos MS4 y adhiriéndose a las guías del Plan de Prevención de Contaminación de Aguas Pluviales (SWPPP, por sus siglas en ingles) de la USEPA. Además, el plan se basará en instrumentos reglamentarios locales como el Reglamento 40, que establece normas realizables de manejo de aguas pluviales (DRNA, 2016; USEPA, 2023).

El seguimiento y el manejo adaptativo serán componentes integrales, que permitirán la evaluación continua de las medidas aplicadas y los ajustes necesarios para optimizar los resultados. A través de un enfoque por fases que abarca la evaluación, la planificación, la participación de las partes interesadas, la implementación y el monitoreo, el Plan de Manejo de Aguas Pluviales tiene como objetivo reducir significativamente los riesgos de inundación, mejorar la calidad del agua y aumentar la resiliencia en la región metropolitana de San Juan.

Actividades

Actividad	Métricas de cumplimiento	Metas	Parte(s) interesada(s) y socio(s) responsable(s)	Estatus	Periodo de tiempo	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Realizar un estudio sobre las inversiones de flujo para comprender sus causas, frecuencia e impacto en la calidad del agua y las inundaciones.	Finalización de un estudio exhaustivo que detalle las causas, la frecuencia y el impacto de las inversiones de flujo en la calidad del agua y las inundaciones.	Finalización del estudio y formulación de recomendaciones prácticas.	Líder: Estuario Socios ejecutivos: DRNA, AAA, DTOP, municipios, comunidad científica, grupos comunitarios.	Pendiente	3-5 años	A determinarse	USEPA, DRNA, municipios, DTOP

Actividad	Métricas de cumplimiento	Metas	Parte(s) interesada(s) y socio(s) responsable(s)	Estatus	Periodo de tiempo	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
2. Actualizar los mapas de drenaje de la región metropolitana de San Juan y desarrollar un mapa actualizado de la cubierta terrestre.	Completar los mapas actualizados de drenaje y cubierta terrestre incorporando datos recientes y verificación de campo.	Entregar los mapas actualizados a los interesados.	Líder: Estuario Socios ejecutivos: DRNA, AAA, DTOP, municipios, comunidad científica, grupos comunitarios.	Pendiente	0-2 años	A determinarse	USEPA, DRNA, municipios, DTOP
3. Crear un mapa georreferenciado de todo el sistema de manejo de aguas pluviales.	Mejores datos para manejar el sistema de aguas pluviales.	Mapa georreferenciado completo del sistema de aguas pluviales.	Líder: Estuario Socios ejecutivos: DRNA, AAA, DTOP, municipios, comunidad científica, grupos comunitarios	Pendiente	3-5 años	A determinarse	USEPA, DRNA, municipios, DTOP
4. Desarrollar el SWMP con amplia participación de la comunidad en la identificación de los principales factores de estrés y prioridades.	Mejoras del manejo de las aguas pluviales.	Recoger las aportaciones de la comunidad para mejorar el manejo de las aguas pluviales.	Líder: Estuario Socios ejecutivos: DRNA, AAA, DTOP, municipios, comunidad científica, grupos comunitarios.	Pendiente	5+ años	A determinarse	USEPA, DRNA, municipios, DTOP

- 801 **Requisitos reglamentarios y de política pública**
- 802 Cumplimiento de los requisitos del permiso MS4 y del Reglamento 40.
- 803 ****NUEVA* Diseñar e implementar los ajustes necesarios a la infraestructura de aguas pluviales en la cuenca del río Piedras***
- 804 ***para apoyar la capacidad natural del río para manejar las aguas pluviales y prevenir inundaciones.***
- 805 **Referencias**
- 806 La cuenca del río Piedras, un componente crítico del EBSJ, se enfrenta a importantes retos en el manejo de
- 807 las aguas pluviales debido a la deforestación y la impermeabilización aguas arriba, la infraestructura
- 808 obsoleta y el aumento de la frecuencia de las inundaciones. Estos problemas han puesto en peligro la
- 809 capacidad natural del río para regular los caudales de aguas pluviales y mitigar las inundaciones, lo que ha
- 810 repercutido negativamente en las comunidades, la calidad del agua y la salud del ecosistema. Es esencial
- 811 disponer de un conocimiento exhaustivo y actualizado de las condiciones hidrológicas e hidráulicas
- 812 existentes para determinar las zonas prioritarias en las que se deben realizar adaptaciones específicas de la

813 infraestructura de aguas pluviales que puedan restaurar y mejorar la capacidad de recuperación de la
814 cuenca.

815 La acción propuesta hace hincapié en la importancia de las intervenciones de infraestructura verde, que
816 utilizan procesos naturales como la infiltración, la evapotranspiración y el almacenamiento para manejar las
817 aguas pluviales de forma sostenible. Los enfoques de infraestructura verde no solo reducen los volúmenes
818 de escorrentía y los caudales máximos, sino que también mejoran la calidad del agua al filtrar los
819 contaminantes antes de que entren en el sistema fluvial (USEPA, 2021). El diseño de proyectos de
820 modernización con un enfoque de infraestructura verde se alinea con las mejores prácticas
821 contemporáneas en el manejo de cuencas urbanas y apoya la salud a largo plazo de la cuenca del río
822 Piedras.

823 La participación de la comunidad y de las partes interesadas es vital para el éxito y la sostenibilidad de los
824 esfuerzos de rehabilitación. Al incorporar el conocimiento local, atender las preocupaciones de la
825 comunidad y fomentar la administración, estos procesos de colaboración ayudan a garantizar que las
826 intervenciones sean contextualmente apropiadas y cuenten con un amplio apoyo (AAA, 2020). Además, el
827 desarrollo de un plan de mantenimiento es fundamental para preservar la funcionalidad y la eficacia de la
828 infraestructura de aguas pluviales a lo largo del tiempo.

829 Este enfoque de múltiples fases —que comienza con una evaluación hidrológica e hidráulica (H&H)
830 detallada, seguida de diseños centrados en la infraestructura verde, la implementación con la participación
831 de la comunidad y la planificación del mantenimiento— proporciona un marco integrado para reducir los
832 riesgos de inundación, mejorar el manejo de las aguas pluviales y proteger la integridad ecológica dentro de
833 la cuenca del río Piedras.

834 **Actividades**

Actividad	Métricas de cumplimiento	Metas	Parte(s) interesada(s) y socio(s) responsable(s)	Estatus	Periodo de tiempo	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Llevar a cabo una evaluación H&H de la cuenca para identificar las áreas prioritarias.	Finalización de un informe de evaluación H&H que identifique las áreas prioritarias de intervención.	Finalización de la evaluación H&H.	Líder: DRNA, AAA, comunidad científica Socios ejecutivos: municipios, grupos comunitarios, Estuario	Pendiente	3-5 años	A determinarse	USEPA, DRNA, AAA
2. Desarrollar diseños de modernización centrados en la infraestructura verde.	Finalización de los planes de diseño de adaptación priorizando las soluciones de infraestructura verde.	Finalizar los diseños de modernización de la infraestructura verde.	Líder: DRNA, AAA, Estuario Socios ejecutivos: municipios, comunidad científica, grupos comunitarios	Pendiente	3-5 años	A determinarse	USEPA, DRNA, AAA

Actividad	Métricas de cumplimiento	Metas	Parte(s) interesada(s) y socio(s) responsable(s)	Estatus	Periodo de tiempo	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
3. Implicar a las comunidades locales y a las partes interesadas en el proceso de planificación y ejecución.	Número de actos de participación de la comunidad y las partes interesadas celebrados y nivel de compromiso de los participantes.	Celebración de sesiones de participación con las partes interesadas.	Líder: Estuario, municipios, grupos comunitarios Socios ejecutivos: DRNA, AAA, comunidad científica	Pendiente	0-2 años	A determinarse	USEPA, DRNA, AAA

835 **Requisitos reglamentarios y de política pública**
836 Ninguno.

837 ***WS-12 Restaurar y mejorar la conectividad de los corredores riparios a lo largo de los tributarios del EBSJ.***

838 **Referencias**

839 Los corredores riparios son tierras adyacentes e inmediatamente aguas arriba de los ríos y arroyos que
840 están cubiertas de vegetación con una combinación de árboles, arbustos y plantas herbáceas. Estas zonas
841 boscosas funcionan, a menudo de forma simultánea, como filtros, transformadores y sumideros de
842 nutrientes, sedimentos, materiales orgánicos, pesticidas y otras sustancias perjudiciales que normalmente
843 son arrastradas por la escorrentía hasta las aguas superficiales y las zonas de recarga de las aguas
844 subterráneas. Los corredores riparios proporcionan estabilidad a las orillas de los arroyos y espacio para la
845 adaptación y evolución natural de sus cursos, que suelen migrar lentamente con el tiempo. Estas zonas con
846 vegetación mitigan el impacto de las inundaciones al preservar parte de la llanura aluvial natural para dar
847 cabida a las crecidas. Así se reduce la prevalencia de los molestos problemas de drenaje que suelen
848 producirse cuando el desarrollo invade la llanura de inundación de un arroyo o río. Además, los corredores
849 riparios tienen una vegetación y un suelo cuyas características difieren claramente de las tierras altas
850 circundantes y soportan niveles más altos de diversidad de especies, densidad de especies e índices de
851 productividad biológica que la mayoría de los demás elementos del paisaje. Cuando son continuos, los
852 corredores riparios ofrecen una zona para el desplazamiento de la fauna silvestre entre zonas forestales
853 distantes y aisladas. El alcance de todos estos beneficios depende de la anchura de la zona de
854 amortiguación o corredor y del tipo, disposición y especies de plantas (Federal Interagency Stream
855 Restoration Working Group, 1998; Natural Resources Conservation Service [NRCS], 1996).

856 En la cuenca hidrográfica del EBSJ, muchos arroyos se han canalizado debido a las inundaciones recurrentes
857 provocadas por la gran extensión de las zonas altas urbanizadas. La sustitución de los corredores riparios
858 por estructuras de control de inundaciones (es decir, canales de hormigón) elimina la mayor parte de los
859 beneficios que proporcionan estos sistemas naturales. En el caso de los arroyos que no han sido confinados
860 a un canal o alcantarilla de hormigón, la eliminación regular de los sedimentos y la vegetación que se
861 encuentra dentro de los canales naturales y sus riberas es una práctica común empleada para mejorar el
862 flujo del agua; una práctica que ha degradado significativamente o eliminado las funciones proporcionadas

863 por estas zonas boscosas. Como resultado, varias zonas del EBSJ se han visto dramáticamente afectadas,
864 especialmente por la sedimentación.

865 **Actividades**

Actividad	Métricas de cumplimiento	Metas	Parte(s) interesada(s) y socio(s) responsable(s)	Estatus	Periodo de tiempo	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Llevar a cabo una evaluación de referencia de las condiciones existentes del corredor ribereño, identificar las lagunas y caracterizar las especies de flora para desarrollar planes de siembra.	Corredores identificados para la restauración sobre la base de la evaluación de las condiciones existentes.	Identificación de los corredores riparios aptos para la restauración.	Líder: DRNA, Servicio Forestal de Estados Unidos (USFS), NRCS Socios ejecutivos: municipios, Estuario	Pendiente	0-2 años	A determinarse	DRNA, USFS, NRCS
2. Desarrollar medidas de mejora y restauración basadas en el estado de los corredores riparios seleccionados.	Mejora del estado de los corredores riparios.	Creación y aplicación de un plan de restauración de los corredores riparios.	Líder: DRNA, USFS, NRCS Socios ejecutivos: municipios, Estuario	En curso	0-2 años	A determinarse	DRNA, USFS, NRCS, municipios
3. Establecer planes de mantenimiento para los trabajos de restauración realizados.	Mejora del estado de los corredores riparios.	Elaborar y aplicar planes de mantenimiento de los corredores riparios restaurados.	Líder: DRNA, USFS, NRCS Socios ejecutivos: municipios	Pendiente	3-5 años	A determinarse	DRNA, USFS, NRCS, municipios
4. Establecer planes de seguimiento de los trabajos de restauración realizados.	Mejora del estado de los corredores riparios.	Elaboración y aplicación de planes de seguimiento de los corredores riparios restaurados.	Líder: DRNA, USFS, NRCS Socios ejecutivos: municipios, Estuario	Pendiente	3-5 años	A determinarse	DRNA, USFS, NRCS, municipios

866 **Requisitos normativos y de política pública**

867 Reforzar la normativa sobre el uso del suelo para impedir el desarrollo no permitido en estas regiones.
868 Aplicar la Ley 1439-24, que amplía las zonas protegidas para los corredores riparios.

869 ****NUEVA* Restaurar y mantener los regímenes de caudal naturales de los tributarios para maximizar el potencial de***
870 ***manejo de las aguas pluviales.***

871 **Referencias**

872 Los regímenes de caudal naturales de los tributarios de la cuenca del EBSJ son fundamentales para el
873 manejo de las aguas pluviales, la preservación de la calidad del agua y la salud de los ecosistemas. Estos
874 patrones de flujo regulan el transporte de sedimentos, el ciclo de nutrientes y mantienen la conectividad
875 entre los ríos y las llanuras aluviales, que son esenciales para mantener los hábitats acuáticos y reducir los

riesgos de inundación. Sin embargo, el desarrollo urbano, las modificaciones de los cauces y la instalación de barreras como alcantarillas y represas han perturbado estos procesos hidrológicos naturales. Estas alteraciones reducen la capacidad de los tributarios para manejar eficazmente las aguas pluviales y aumentan la frecuencia y gravedad de las inundaciones (Bauzá-Ortega, 2015).

Los esfuerzos de restauración centrados en el restablecimiento de la morfología natural de los canales y la reconexión de las llanuras de inundación pueden mejorar la capacidad de la cuenca para absorber y desacelerar los flujos de aguas pluviales, reduciendo así los caudales máximos y mejorando la calidad del agua (USEPA, 2021). Eliminar o readaptar las barreras físicas que interrumpen los patrones naturales de flujo es fundamental para restaurar la conectividad hidrológica y ecológica, permitiendo el transporte de sedimentos y la migración de especies acuáticas, lo que contribuye a la resiliencia general de la cuenca (AAA, 2020).

Los esfuerzos de monitoreo a largo plazo son esenciales para evaluar la efectividad de estas actividades de restauración. El seguimiento de los parámetros hidrológicos, los resultados del manejo de las aguas pluviales y los indicadores de salud ecológica permite un manejo adaptativo y garantiza que los objetivos de restauración se cumplan de forma sostenible a lo largo del tiempo.

La colaboración entre organismos es indispensable para el éxito de la planificación, ejecución y seguimiento de los proyectos de restauración. Estos esfuerzos coordinados apoyarán la recuperación de los regímenes naturales de flujo, mejorando el manejo de las aguas pluviales y la prevención de inundaciones en la cuenca del EBSJ.

Actividades

Actividad	Métricas de cumplimiento	Metas	Parte(s) interesada(s) y socio(s) responsable(s)	Estatus	Periodo de tiempo	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Elaborar y aplicar planes de restauración que den prioridad al restablecimiento de la morfología natural del cauce y la conectividad de la llanura aluvial.	Finalización y aprobación de los planes de restauración centrados en la morfología natural del cauce y la conectividad de la llanura aluvial.	Elaboración de los planes y desarrollo de las actividades de restauración.	Líder: DRNA, AAA, comunidad científica, Estuario Socios ejecutivos: municipios, empresas privadas de servicios públicos	Pendiente	3-5 años	A determinarse	USEPA, DRNA, AAA
2. Eliminar o modernizar las barreras existentes que alteran los flujos naturales.	Número de barreras eliminadas o modernizadas para restablecer los flujos naturales.	Supresión o adaptación de las barreras identificadas que perturban el flujo.	Líder: DRNA, AAA, empresas privadas de servicios públicos Socios ejecutivos: municipios	Pendiente	5+ años	A determinarse	USEPA, DRNA, AAA, Fondo Rotatorio Estatal

Actividad	Métricas de cumplimiento	Metas	Parte(s) interesada(s) y socio(s) responsable(s)	Estatus	Periodo de tiempo	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
3. Crear proyectos de monitoreo a largo plazo para evaluar la recuperación del caudal, los beneficios de las aguas pluviales y la salud ecológica.	Establecimiento de un esfuerzo de monitoreo a largo plazo con indicadores definidos para la recuperación del caudal, el manejo de las aguas pluviales y la salud ecológica.	Puesta en marcha del proyecto de seguimiento.	Líder: DRNA, AAA Socios ejecutivos: municipios, empresas privadas de servicios públicos, Estuario	Pendiente	5+ años	A determinarse	USEPA, DRNA, AAA

896 **Requisitos reglamentarios y de política pública**
897 Ninguno.

898 ***WS-16 Desarrollar y emitir permisos NPDES para regular las descargas de aguas pluviales en las áreas urbanizadas de la***
899 ***cuenca hidrográfica del EBSJ, tales como la playa del Condado, que aportan descargas de fuentes precisas de aguas***
900 ***pluviales al sistema y sus tributarios.***

901 **Referencias**

902 La cuenca del EBSJ abarca una amplia gama de zonas urbanizadas que contribuyen a las descargas de aguas
903 pluviales de fuentes puntuales. La regulación de estas descargas es fundamental para mantener la
904 integridad ecológica del sistema estuarino y sus tributarios, que son vulnerables a la contaminación
905 procedente de la escorrentía urbana. Para abordar estos asuntos, es necesario elaborar y expedir permisos
906 NPDES que regulen las descargas de aguas pluviales de las MS4 de la cuenca.

907 En virtud de la Ley de Agua Limpia, la USEPA estableció una normativa destinada a minimizar, reducir,
908 controlar y eliminar las descargas de aguas pluviales contaminadas a través de los sistemas de
909 alcantarillado pluvial. Las MS4 —que recogen y transportan la escorrentía de las aguas pluviales de las
910 zonas urbanizadas— están obligadas a obtener permisos NPDES para garantizar que sus descargas no
911 afecten negativamente a la calidad del agua en los cuerpos de agua receptores.

912 La cuenca del EBSJ se caracteriza por su paisaje urbanizado, que incluye zonas residenciales, comerciales e
913 industriales. El desarrollo urbano conduce a un aumento de las superficies impermeables, como las
914 carreteras y los edificios, que aportan a la rápida acumulación de la escorrentía de aguas pluviales. Esta
915 escorrentía puede contener contaminantes que degradan la calidad del agua y dañan el sistema estuarino.

916 La expedición de permisos NPDES para las MS4 de la cuenca del EBSJ deberá guiarse por un conocimiento
917 exhaustivo de la hidrología local, las pautas de uso del suelo y las condiciones existentes de calidad del
918 agua. Este marco normativo facilitará el desarrollo de estrategias de manejo de las aguas pluviales a medida
919 que se atiendan los retos específicos a los que se enfrentan las zonas urbanizadas de la cuenca.

Actividades

Actividad	Métricas de cumplimiento	Metas	Parte(s) interesada(s) y socio(s) responsable(s)	Estatus	Periodo de tiempo	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Realizar una evaluación del sistema de aguas pluviales para identificar carencias y necesidades de mantenimiento.	Elaborar un informe exhaustivo de evaluación del sistema de aguas pluviales en el que se detallan las carencias de la infraestructura y las necesidades de mantenimiento.	Finalizar la evaluación del sistema de aguas pluviales.	Líder: AAA, municipios Socios ejecutivos: Utilidades privadas del DRNA, Estuario	Pendiente	2-3 años	A determinarse	USEPA, Fondo Rotatorio Estatal, DRNA
2. Apoyar a las jurisdicciones en el diseño de infraestructura de aguas pluviales utilizando técnicas de infraestructura verde.	Número de jurisdicciones que reciben asistencia para el diseño de infraestructura verde y calidad de los planes de diseño producidos.	Proporcionar apoyo técnico a las jurisdicciones para que adopten diseños de infraestructura verde.	Líder: DRNA Socios ejecutivos: AAA, municipios, empresas privadas de servicios públicos, Estuario	Pendiente	3-5 años	A determinarse	USEPA, Fondo Rotatorio Estatal, DRNA
3. Desarrollar y expedir permisos NPDES para MS4s dentro de la cuenca EBSJ.	Número de permisos NPDES expedidos e índice de cumplimiento entre los operadores.	Cumplimiento de los permisos en la cuenca.	Líder: DRNA Socios ejecutivos: AAA, municipios, empresas privadas de servicios públicos	Pendiente	3-5 años	A determinarse	USEPA, Fondo Rotatorio Estatal, DRNA
4. Avanzar en el desarrollo y la aplicación de las mejores prácticas de manejo (BMP) por parte de las operaciones MS4 para controlar las descargas de aguas pluviales.	Eficacia de los BMP en la reducción de contaminantes.	Aplicación de las mejores prácticas de manejo en la cuenca.	Líder: DRNA Socios ejecutivos: AAA, municipios, empresas privadas de servicios públicos	Pendiente	3-5 años	A determinarse	USEPA, DRNA
5. Facilitar la colaboración regional para compartir recursos.	Número de reuniones de colaboración regional celebradas y acuerdos de recursos compartidos establecidos.	Reuniones de colaboración organizadas.	Líder: Estuario, DRNA Socios ejecutivos: AAA, municipios, empresas privadas de servicios públicos	Pendiente	2-3 años	A determinarse	USEPA, Fondo Rotatorio Estatal, DRNA

Requisitos reglamentarios y de política pública

Las descargas de los MS4 están reguladas por la Ley de Agua Limpia. De conformidad con esta ley, la USEPA emitió reglamentos en el marco del programa NPDES para minimizar, reducir, controlar y eliminar las descargas de aguas pluviales contaminadas a través de los recolección de las aguas pluviales. El cumplimiento de los permisos es necesario para reducir el impacto de las aguas pluviales.

GI-01 Validar e implementar el Plan Maestro de Infraestructura Verde en la cuenca del EBSJ.**Referencias**

El EBSJ se enfrenta a importantes retos debido a la urbanización, los fenómenos extremos, el aumento del nivel del mar y las prácticas inadecuadas de manejo de las aguas pluviales. La escorrentía de las aguas pluviales es una de las principales causas de contaminación del agua en las zonas urbanas, ya que la lluvia que cae sobre techos, calles y estacionamientos no puede infiltrar el suelo. En lugar de ello, se canaliza a través de alcantarillas y colectores de aguas pluviales, descargando finalmente en cuerpos de agua cercanos, transportando basura, bacterias, metales pesados y otros contaminantes. Esta situación agrava las inundaciones y degrada la calidad del agua, lo que pone de relieve la urgente necesidad de un plan maestro integral de infraestructura verde que incorpore las BMP como jardines de lluvia, techos verdes y dunas.

La infraestructura verde, tal como se define en la sección 502 de la Ley de Agua Limpia, abarca "la gama de medidas que utilizan sistemas de plantas o suelo, pavimento permeable u otras superficies o sustratos permeables, recolección y reutilización de aguas pluviales o paisajismo para almacenar, infiltrar o evapotranspirar las aguas pluviales y reducir los caudales a los sistemas de alcantarillado o a las aguas superficiales" (USEPA, 2021). Este enfoque es rentable y resistente, y proporciona numerosos beneficios a la comunidad mediante el manejo de los efectos de las tormentas, al tiempo que ofrece ventajas ambientales, sociales y económicas. A diferencia de la infraestructura gris tradicional, que está diseñada únicamente para alejar las aguas pluviales de las zonas urbanas, la infraestructura verde reduce y trata las aguas pluviales en su origen, mitigando los efectos adversos de la escorrentía.

Las investigaciones realizadas en la comunidad del Caño Martín Peña han demostrado la eficacia potencial de la infraestructura verde. Por ejemplo, un jardín de lluvia construido en el instituto Albert Einstein de San Juan mostró cómo los sistemas naturales pueden absorber y filtrar las aguas pluviales, controlando así la escorrentía y mejorando la calidad del agua. Los resultados preliminares indicaron que los jardines de lluvia diseñados adecuadamente pueden ayudar a manejar eficazmente las aguas pluviales, incluso en zonas con altas precipitaciones y condiciones tropicales, como el EBSJ (USEPA, 2015).

Para implementar eficazmente un plan maestro, será crucial involucrar a las comunidades locales y a las partes interesadas en la planificación y ejecución de proyectos piloto. La participación de la comunidad no solo fomenta un sentido de administración, sino que también mejora la eficacia de las iniciativas de infraestructura verde.

El plan maestro debe tener en cuenta el contexto normativo y los retos existentes en materia de infraestructura. Las prioridades legales e institucionales que rigen la infraestructura de aguas pluviales en Puerto Rico, incluidos varios decretos de consentimiento, deben informar el desarrollo del plan para garantizar el cumplimiento de los estándares federales de calidad del agua. Para que los proyectos de

960 infraestructura verde tengan éxito, será esencial subsanar las deficiencias de la infraestructura existente,
961 sobre todo en las zonas desatendidas que carecen de sistemas formales de aguas pluviales.

962 De cara al futuro, los próximos pasos críticos implican la validación del Plan Maestro de Infraestructura
963 Verde con las agencias responsables y las partes interesadas, incluidos el DRNA, la AAA, los municipios y los
964 grupos comunitarios. Este proceso de validación garantizará la alineación con los marcos normativos
965 vigentes, las capacidades operativas y las prioridades locales. La participación temprana de estas entidades
966 facilitará la implementación coordinada, la asignación de recursos y las estrategias de monitoreo,
967 mejorando así la viabilidad y el impacto del Plan Maestro de Infraestructura Verde.

968 **Actividades**

Actividad	Métricas de cumplimiento	Metas	Parte(s) interesada(s) y socio(s) responsable(s)	Estatus	Periodo de tiempo	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Validar el Plan Maestro de Infraestructura Verde.	Realización de un informe de validación que confirme la precisión, viabilidad y aceptación por las partes interesadas del Plan Maestro de Infraestructura Verde.	Realización de actividades de validación.	Líder: Estuario Socios ejecutivos: AAA, DRNA, municipios, academia	Pendiente	0-2 años	A determinarse	USEPA, Fondo Rotatorio Estatal, DRNA
2. Evaluar las prácticas existentes de manejo de las aguas pluviales e identificar las lagunas donde la infraestructura verde podría tener éxito.	Identificación de las zonas que carecen de infraestructura y de las condiciones actuales.	Se determinarán las zonas prioritarias para la implantación de infraestructura verde.	Líder: Estuario Socios ejecutivos: AAA, DRNA, municipios, academia	Pendiente	3-5 años	A determinarse	USEPA, Fondo Rotatorio Estatal, DRNA
3. Implicar a las comunidades locales y a las partes interesadas en el proceso de elaboración del plan maestro.	Participación de la comunidad y recopilación de comentarios.	Se celebrarán actos de participación comunitaria.	Líder: Estuario, Socios ejecutivos: AAA, DRNA, municipios, academia.	Pendiente	0-2 años	A determinarse	USEPA, Fondo Rotatorio Estatal, DRNA
4. Implementar proyectos como parte del plan maestro.	Preparación para la ejecución basada en el plan maestro y la orientación de la comunidad.	Se avanzará con los proyectos que estén listos para su desarrollo.	Líder: AAA, municipios Socios ejecutivos: DRNA, Estuario, academia	Pendiente	3-5 años	A determinarse	USEPA, Fondo Rotatorio Estatal, DRNA

Actividad	Métricas de cumplimiento	Metas	Parte(s) interesada(s) y socio(s) responsable(s)	Estatus	Periodo de tiempo	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
5. Medir el rendimiento técnico de la infraestructura verde.	Datos cuantitativos sobre los índices de infiltración, la reducción de la escorrentía y la eficacia de la eliminación de contaminantes de la infraestructura verde instalada.	Recoger y analizar trimestralmente los datos sobre el rendimiento.	Líder: AAA, DRNA Socios ejecutivos: municipios, academia	Pendiente	0-2 años	A determinarse	USEPA, Fondo Rotatorio Estatal, DRNA

969 **Requisitos reglamentarios y de política pública**
970 Ninguno.

971 ****NUEVA-1* Trabajar con el poder legislativo, las agencias, los municipios y el sector privado para estimular el desarrollo***
972 ***de urbanizaciones con certificación LEED.***

973 **Referencias**

974 Las prácticas de desarrollo sostenible son cada vez más esenciales en las regiones urbanas para reducir el
975 impacto ambiental, mejorar la eficiencia energética y aumentar el bienestar de la comunidad. La cuenca
976 hidrográfica del EBSJ y sus alrededores están experimentando un rápido crecimiento urbano y presiones
977 urbanísticas, lo que presenta una importante oportunidad para integrar prácticas de construcción ecológica
978 en los nuevos proyectos de construcción. La certificación LEED (*Leadership in Energy and Environmental*
979 *Design*) proporciona un marco ampliamente reconocido para promover la construcción y el funcionamiento
980 responsables con el medioambiente, haciendo hincapié en la eficiencia energética, la conservación del agua,
981 los materiales sostenibles y la calidad ambiental interior (U.S. Green Building Council [USGBC], 2023).

982 Los nuevos proyectos de construcción que se adhieren a las normas LEED pueden reducir sustancialmente
983 la huella ecológica del desarrollo urbano, minimizando el uso de recursos y mitigando la contaminación. Así,
984 apoyan los objetivos más amplios de protección de las cuencas hidrográficas y resiliencia climática en el
985 sistema del EBSJ. Aumentar el número de profesionales con la certificación LEED a nivel local es crucial, ya
986 que crea capacidad técnica y experiencia para guiar a los promotores a través del proceso de certificación.

987 Los esfuerzos de colaboración con las agencias de planificación y regulación para integrar los requisitos
988 LEED en las leyes de zonificación y los códigos de construcción pueden institucionalizar las prácticas de
989 construcción sostenible, garantizando que los nuevos desarrollos contribuyan a los objetivos
990 medioambientales desde el principio. Además, los programas de incentivos bien diseñados dirigidos a los
991 promotores pueden motivar la adopción de la certificación LEED, compensando los costos y destacando los
992 beneficios económicos a largo plazo (USEPA, 2016).

993 Proporcionar asistencia técnica, compartir las mejores prácticas y fomentar la coordinación entre las partes
994 interesadas, incluidos los organismos gubernamentales, los desarrolladores, la academia y las
995 comunidades, facilitará la transferencia de conocimientos y el desarrollo de capacidades. Estos esfuerzos

996 fomentan colectivamente el desarrollo de proyectos con certificación LEED que se alinean con los objetivos
997 regionales de sostenibilidad y promueven comunidades saludables y resilientes.

998 **Actividades**

Actividad	Métricas de cumplimiento	Metas	Parte(s) interesada(s) y socio(s) responsable(s)	Estatus	Periodo de tiempo	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Aumentar el número de personas acreditadas LEED en la región del EBSJ.	Número de nuevos profesionales con la certificación LEED en la región del EBSJ.	Aumentar el número de personas con la acreditación LEED.	Líder: DRNA Socios ejecutivos: municipios, desarrolladores, academia, comunidad científica.	Pendiente	5+ años	A determinarse	USEPA, Fondo Rotatorio Estatal, academia
2. Colaborar con los organismos de planificación y regulación para integrar los requisitos LEED en los requisitos de zonificación y códigos.	Número de agencias de planificación y regulación implicadas y adopción formal de los requisitos LEED en la zonificación y los códigos de construcción.	Colaboración con organismos clave.	Líder: DRNA, Estuario Socios ejecutivos: municipios, desarrolladores, academia, comunidad científica.	Pendiente	3-5 años	A determinarse	USEPA, DRNA, Fondo Rotatorio Estatal, municipios
3. Crear incentivos para animar a los desarrolladores a buscar certificaciones LEED para nuevos proyectos.	Creación y adopción de programas de incentivos dirigidos a los desarrolladores para la certificación LEED.	Diseño y aplicación de programas inventivos.	Líder: DRNA Socios ejecutivos: municipios, desarrolladores, academia, comunidad científica.	Pendiente	3-5 años	A determinarse	USEPA, DRNA, Fondo Rotatorio Estatal, municipios
4. Coordinar esfuerzos, compartir mejores prácticas y proporcionar asistencia técnica a las partes interesadas en relación con el desarrollo de proyectos LEED.	Número de reuniones de coordinación celebradas, mejores prácticas compartidas y sesiones de asistencia técnica realizadas para las partes interesadas.	Celebración de reuniones de coordinación.	Líder: DRNA, Estuario Socios ejecutivos: municipios, desarrolladores, academia, comunidad científica.	Pendiente	0-2 años	A determinarse	USEPA, DRNA, Fondo Rotatorio Estatal, municipios

999 **Requisitos normativos y de política pública**

1000 Es necesario cumplir las ordenanzas locales de zonificación, los códigos de construcción y los procesos de
1001 concesión de permisos.

NUEVA-2 *Desarrollar e implantar un proyecto para ayudar a los propietarios privados a implantar prácticas de infraestructura verde para aumentar su permeabilidad, como techos verdes y pavimento permeable.*

Referencias

Las zonas urbanas de la cuenca del EBSJ se enfrentan a importantes problemas relacionados con la escorrentía de las aguas pluviales y las superficies impermeables de las propiedades privadas. Las urbanizaciones existentes a menudo cuentan con techos, entradas de vehículos y patios compuestos por materiales impermeables que impiden la infiltración natural del agua de lluvia, lo que provoca un aumento de la escorrentía de aguas pluviales, inundaciones localizadas y transporte de contaminantes a la cuenca. El manejo de las aguas pluviales en la propiedad privada es fundamental para complementar las mejoras en la infraestructura pública y reducir el impacto en toda la cuenca.

Las prácticas de infraestructura verde, como los techos verdes, los pavimentos permeables, los jardines de lluvia y los canales o zanjas con vegetación, ofrecen soluciones eficaces para aumentar la permeabilidad en las propiedades privadas. Estos elementos imitan los procesos naturales capturando, infiltrando y filtrando las aguas pluviales *in situ*, reduciendo así el volumen de escorrentía, mitigando los riesgos de inundación y mejorando la calidad del agua (USEPA, 2021). A pesar de los beneficios, la adopción de la infraestructura verde por parte de los propietarios privados sigue siendo limitada debido a la falta de concienciación, conocimientos técnicos y barreras financieras.

La puesta en marcha de un proyecto de apoyo a los propietarios privados para que adopten infraestructura verde requiere esfuerzos integrales de educación y divulgación. Informar a los residentes sobre los beneficios ambientales, económicos y estéticos de estas prácticas puede fomentar el compromiso de la comunidad con la restauración y conservación del EBSJ. Proporcionar guías y recursos técnicos accesibles capacita aún más a los propietarios para instalar y mantener eficazmente formas de infraestructura verde.

Un componente importante de esta iniciativa es la instalación de contadores de aguas pluviales en propiedades privadas para medir con precisión la cantidad de aguas pluviales. Estos medidores proporcionan datos valiosos que ayudan a evaluar la eficacia de las instalaciones de infraestructura verde, informan sobre el manejo adaptativo y apoyan la investigación sobre hidrología urbana a escala de la propiedad.

El establecimiento de incentivos financieros o programas de asistencia puede superar los obstáculos relacionados con los costos, fomentando una mayor adopción de prácticas respetuosas con las aguas pluviales en terrenos privados. Se ha demostrado que estos programas aumentan las tasas de participación y maximizan los beneficios medioambientales en las cuencas urbanas (USGBC, 2023).

Al centrarse en las propiedades residenciales existentes para la implementación de infraestructura verde, esta acción complementa las estrategias regionales de manejo de aguas pluviales, mejora la resiliencia urbana y favorece la restauración y protección de la cuenca del EBSJ.

1036 **Actividades**

Actividad	Métricas de cumplimiento	Metas	Parte(s) interesada(s) y socio(s) responsable(s)	Estatus	Periodo de tiempo	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Elaborar y distribuir guías técnicas y recursos sobre la instalación y el mantenimiento de elementos de infraestructura verde.	Número de guías técnicas elaboradas y distribuidas, e indicadores de la participación de los usuarios.	Elaboración y distribución masiva de las guías técnicas.	Líder: DRNA, Estuario Socios ejecutivos: municipios, comunidad científica, academia, grupos comunitarios locales.	Pendiente	0-2 años	A determinarse	USEPA, DRNA
2. Llevar a cabo campañas de educación y divulgación para informar a los propietarios privados sobre los beneficios de las prácticas de infraestructura verde.	Número de eventos educativos y de divulgación celebrados y cantidad de materiales informativos distribuidos a los propietarios privados.	Realización de actividades de divulgación.	Líder: DRNA, Estuario Socios ejecutivos: municipios, comunidad científica, academia, grupos comunitarios locales.	Pendiente	0-2 años	A determinarse	USEPA, DRNA
3. Establecer incentivos financieros o programas de asistencia para incentivar la instalación de infraestructura verde.	Número de programas de incentivos financieros establecidos y cantidad de fondos asignados para instalaciones de infraestructura verde.	Puesta en marcha de programas de incentivos financieros.	Líder: Legislatura, DRNA, Estuario Socios ejecutivos: municipios, comunidad científica, academia, grupos comunitarios locales.	Pendiente	3-5 años	A determinarse	USEPA, DRNA

1037 **Requisitos normativos y de política pública**

1038 Es necesario cumplir las ordenanzas locales de zonificación, los códigos de construcción y los procesos de
1039 concesión de permisos.

1040 ****NUEVA-3*** Realizar un estudio para evaluar la frecuencia y duración de las inversiones de flujo producidas por la*
1041 *escorrentía de aguas pluviales para mejorar las estimaciones del balance de masas.*

1042 **Referencias**

1043 Las grandes entradas de escorrentía de aguas pluviales en el sistema del EBSJ pueden invertir los flujos
1044 normales de las mareas, lo que constituye una preocupación crítica para mantener la integridad ecológica
1045 del estuario. Esta inversión se produce cuando el rápido flujo de las aguas pluviales crea una presión
1046 significativa que desborda el intercambio natural de las mareas. El umbral exacto de escorrentía que
1047 desencadena estas inversiones de flujo no está bien definido; sin embargo, los datos históricos indican que
1048 las intensidades de precipitación con una frecuencia de retorno de un año pueden afectar
1049 significativamente a la dinámica del flujo (Gómez Gómez et al., 1983). Comprender estos umbrales es
1050 esencial para un manejo eficaz del agua y la protección ecológica.

El fenómeno de inversión del flujo complica la comprensión del sistema del EBSJ porque afecta el movimiento de contaminantes dentro del estuario. Durante los periodos de escorrentía elevada, el rápido flujo de aguas pluviales hacia el sistema puede dar lugar a reflujos, que pueden introducir contaminantes en el estuario en lugar de permitir su correcto drenaje fuera del sistema estuarino. Esta situación plantea riesgos no solo para la calidad del agua, sino también para las funciones ecológicas del estuario, ya que la inversión de los flujos puede alterar el hábitat natural y la salud de los organismos acuáticos (Lugo y Bauzá Ortega, 2024).

A medida que sube el nivel del mar, aumenta la posibilidad de que se produzcan reflujos en el sistema de aguas pluviales, especialmente durante mareas altas o precipitaciones importantes. El aumento del nivel del mar puede exacerbar la frecuencia y duración de las inversiones de flujo, lo que hace aún más crítico evaluar y comprender esta dinámica.

La identificación de las zonas específicas en las que la escorrentía de aguas pluviales está provocando inversiones de flujo será fundamental para desarrollar estrategias de manejo específicas. Esta información puede ayudar a mejorar la infraestructura, como la instalación de dispositivos de prevención del reflujo, y orientar la aplicación de soluciones de infraestructura verde diseñadas para manejar la escorrentía de forma más eficaz.

Actividades

Actividad	Métricas de cumplimiento	Metas	Parte(s) interesada(s) y socio(s) responsable(s)	Estatus	Periodo de tiempo	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Desarrollar un estudio de inversión del flujo de aguas pluviales y recopilar datos adicionales.	Datos mejorados para evaluar los impactos de la inversión del flujo de aguas pluviales.	Finalización del estudio de inversión y flujo de aguas pluviales.	Líder: Estuario Socios ejecutivos: Academia, comunidad científica, organizaciones locales	Pendiente	0-2 años	A determinarse	USEPA, DRNA
2. Compartir un informe con conclusiones y recomendaciones para proyectos potenciales.	Datos mejorados para evaluar los impactos de la inversión del flujo de aguas pluviales.	Informe sobre proyectos potenciales.	Líder: Estuario Socios ejecutivos: Academia, comunidad científica, organizaciones locales	Pendiente	3-5 años	A determinarse	USEPA, DRNA
3. Aplicar las recomendaciones del estudio.	Reducción de los impactos en el sistema del EBSJ de las inversiones del flujo de aguas pluviales.	Ejecutar las recomendaciones de proyectos prioritarios del estudio.	Líder: DNER, DTOP Socios ejecutivos: municipios	Pendiente	5+ años	A determinarse	USEPA, Fondo Rotatorio Estatal, DRNA

Requisitos reglamentarios y de política pública

Ninguno.

***NUEVA-4* Actualizar y mejorar los mapas integrales de drenaje de la cuenca del EBSJ.**

Referencias

La cuenca del EBSJ ha experimentado un alto nivel de desarrollo, lo que ha aumentado significativamente su susceptibilidad a las inundaciones, en particular durante los períodos de fuertes lluvias y fenómenos meteorológicos extremos. La urbanización ha dado lugar a una proliferación de superficies impermeables, como carreteras, edificios y zonas pavimentadas, que impiden que el agua de lluvia se infiltre en el suelo. Como resultado, se generan mayores volúmenes de escorrentía de aguas pluviales, desbordando la capacidad natural de drenaje de la cuenca. Esta escorrentía no solo contribuye a las inundaciones, sino que también transporta una gran cantidad de contaminantes que pueden superar la capacidad del estuario para filtrar y manejar eficazmente los contaminantes. En consecuencia, los contaminantes pueden entrar en el EBSJ y afectar sus funciones ecológicas durante meses o incluso años (Lugo y Bauzá Ortega, 2024).

A la luz de estos desafíos, la actualización y mejora de los mapas integrales de drenaje de la cuenca del EBSJ es esencial para el manejo eficaz del agua y las estrategias de mitigación de inundaciones. Los mapas de drenaje precisos y detallados proporcionan información crítica sobre la infraestructura de aguas pluviales existente, incluidos los patrones de drenaje, las rutas de flujo y las áreas propensas a inundaciones. Los mapas de drenaje mejorados pueden facilitar una mejor planificación y los procesos de toma de decisiones. Pueden servir como valiosas herramientas para que los planificadores urbanos y los gestores medioambientales evalúen el impacto de los nuevos desarrollos en la escorrentía de las aguas pluviales y apliquen prácticas sostenibles de uso del suelo que minimicen la degradación medioambiental. Además, los mapas actualizados pueden ayudar a identificar las zonas clave en las que las características naturales, como los humedales y las zonas de amortiguación ribereñas, pueden conservarse o restaurarse para mejorar el manejo de las aguas pluviales.

El proceso de actualización de los mapas de drenaje debe contar con la participación de la comunidad y las aportaciones de las partes interesadas locales. La participación de los residentes, las organizaciones comunitarias y las empresas en el proceso de elaboración de mapas puede proporcionar información valiosa sobre los problemas de drenaje locales y aumentar la concienciación pública sobre los retos del manejo de las aguas pluviales.

Actividades

Actividad	Métricas de cumplimiento	Metas	Parte(s) interesada(s) y socio(s) responsable(s)	Estatus	Periodo de tiempo	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Recopilar los mapas y datos de drenaje existentes para crear una base de geodatos.	Base de datos exhaustiva de la información existente sobre el drenaje.	Base de datos compilada.	Líder: AAA, DRNA Socios ejecutivos: Academia, comunidad científica, municipios, Estuario	Pendiente	0-2 años	A determinarse	DRNA, AAA, municipios

Actividad	Métricas de cumplimiento	Metas	Parte(s) interesada(s) y socio(s) responsable(s)	Estatus	Periodo de tiempo	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
2. Realizar encuestas para verificar datos y recopilar nueva información.	Mejorar los datos sobre el drenaje en la cuenca.	Completar encuestas de campo.	Líder: AAA, DRNA Socios ejecutivos: Academia, comunidad científica, municipios	Pendiente	0-2 años	A determinarse	USEPA, DRNA, AAA, municipios
3. Publicar mapas actualizados y hallazgos.	Conocimiento compartido para la toma de decisiones sobre el manejo de las aguas pluviales.	Crear y distribuir un informe de resultados a las partes interesadas.	Líder: AAA, DRNA Socios ejecutivos: Academia, comunidad científica, municipios, Estuario	Pendiente	3-5 años	A determinarse	DRNA, AAA, municipios

1098 **Requisitos reglamentarios y de política pública**
1099 Ninguno.

1100 ****NUEVA-5* Desarrollar e implantar BMP urbanas para reducir eventos de inundaciones y contaminantes que entran al***
1101 ***EBSJ a través de las aguas pluviales.***

1102 **Referencias**

1103 Las aguas pluviales de las zonas urbanas transportan contaminantes que afectan a las aguas superficiales y
1104 subterráneas. Estos contaminantes incluyen nutrientes, pesticidas, desechos de mascotas, aceite y grasa,
1105 escombros y basura, y sedimentos. Existe una gran variedad de BMP que pueden utilizarse para capturar y
1106 tratar las aguas pluviales con el fin de eliminar o reducir estos contaminantes antes de que la escorrentía de
1107 las aguas pluviales llegue a un cuerpo de agua o se infiltre en las aguas subterráneas. Estas prácticas
1108 incluyen métodos más tradicionales como estanques de detención húmedos, retención y cunetas;
1109 infraestructura verde, como zanjas con vegetación, jardines de lluvia, techos verdes y pavimento permeable;
1110 y métodos innovadores que utilizan medios o productos químicos como el alumbre para ayudar a la
1111 eliminación de nutrientes. Las BMP pueden utilizarse también para ayudar a atenuar grandes volúmenes de
1112 aguas pluviales y disminuir la cantidad de escorrentía de aguas pluviales que llega a un cuerpo de agua a la
1113 vez. La identificación de BMP adecuadas para atender el manejo de las aguas pluviales y las necesidades de
1114 tratamiento específicas de cada zona de la cuenca del EBSJ ayudará a mejorar el ecosistema del EBSJ y
1115 apoyar a las comunidades actualmente afectadas por las inundaciones.

1116 Los efectos de la urbanización en la dinámica de la escorrentía subrayan la necesidad de contar con unas
1117 BMP eficaces. Como señala Burgos-López (2025), "las superficies impermeables han sustituido a las zonas
1118 de infiltración que antes se encontraban en espacios naturales abiertos y terrenos baldíos, lo que ha
1119 provocado un aumento de la escorrentía de las aguas pluviales". El desarrollo urbano crea un reto
1120 importante para el manejo de las aguas pluviales, ya que el manejo de la escorrentía se transfiere a
1121 menudo a entidades públicas, como las MS4, a pesar de que gran parte de la escorrentía procede de
1122 propiedades urbanizadas privadas. Tal disparidad pone de manifiesto la necesidad de esta acción y de
1123 políticas que impongan la responsabilidad y promuevan prácticas de desarrollo urbano sostenible.

Además, a menudo, las herramientas de planificación actuales, como el Plan de Usos de Terrenos de Puerto Rico, no reconocen los beneficios hidrológicos y ecológicos de las superficies permeables, categorizándolas uniformemente como "suelo urbano". Esta simplificación excesiva pasa por alto las funciones críticas que desempeñan esas superficies en el manejo de la escorrentía y la mitigación de las inundaciones. En consecuencia, existe una necesidad apremiante de mejorar las políticas que reconocen los beneficios de los distintos tipos de suelo y potencian la infraestructura verde en la planificación urbana.

Tampoco puede pasarse por alto el papel de las infraestructuras de transporte, ya que las carreteras y autopistas aumentan significativamente a la escorrentía de las aguas pluviales y a la degradación del medioambiente. Como subrayan las conclusiones de Burgos-López, "las infraestructuras de transporte también desempeñan un papel importante en la configuración de la dinámica urbana", lo que subraya la necesidad de una planificación integrada que incluya soluciones de infraestructura verde (2025).

Actividades

Actividad	Métricas de cumplimiento	Metas	Parte(s) interesada(s) y socio(s) responsable(s)	Estatus	Periodo de tiempo	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Evaluar las prácticas urbanas y agrícolas actuales para identificar necesidades adicionales.	2. Identificar los lugares donde se necesitan BMP de aguas pluviales.	Evaluación de los emplazamientos urbanos y agrícolas.	Líder: Departamento de Agricultura de Puerto Rico (PRDA), Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) Socios ejecutivos: propietarios de terrenos agrícolas, municipios, academia, comunidad científica.	Pendiente	0-2 años	A determinarse	USEPA, municipios PRDA, USDA
2. Elaborar un plan de aplicación de las mejores prácticas de manejo en las zonas urbanas y agrícolas más necesitadas.	Lista de prioridades de las BMP.	Se elaborará una lista de BMP para las zonas urbanas y agrícolas.	Líder: PRDA, USDA, Estuario Socios ejecutivos: Academia, comunidad científica, propietarios agrícolas, municipios	Pendiente	3-5 años	A determinarse	USEPA, municipios, PRDA, USDA
3. Implantar BMP en las zonas de alta prioridad identificadas.	Reducción de los efectos de la escorrentía de aguas pluviales en la cuenca del EBSJ.	Instalación en las zonas prioritarias.	Líder: PRDA, USDA Socios ejecutivos: Municipios	Pendiente	5+ años	A determinarse	USEPA, PRDA, USDA

Requisitos reglamentarios y de política pública

Puede ser necesario modificar los códigos y ordenanzas locales para permitir la aplicación de medidas de manejo de aguas pluviales más innovadoras y ecológicas.

****NUEVA-6* Incluir la estación de bombeo para el control de inundaciones de De Diego como punto de descarga en el permiso NPDES.***

Referencias

La Estación de Bombeo para el Control de Inundaciones de De Diego (FCPS, por sus siglas en inglés), localizada en la intersección de la calle Julián Blanco y la calle Estrella Marginal (carretera estatal PR-26) en San Juan, juega un papel importante en el manejo del flujo de aguas pluviales dentro de la región metropolitana de San Juan. Esta instalación descarga aguas pluviales en la playa del Condado, una zona costera sensible dentro del estuario.

En una querrela de 2014, la USEPA alegó que el DRNA descargaba contaminantes sin permiso desde sus estaciones de bombeo de aguas pluviales De Diego, Baldorioty de Castro y Parada 18. Estas estaciones de bombeo, incluyendo De Diego, fueron diseñadas para controlar las inundaciones mediante el bombeo de grandes volúmenes de aguas pluviales a la playa, pero han estado recibiendo flujos que contienen aguas sanitarias sin tratar (Departamento de Justicia de Estados Unidos [USDOJ], 2015).

El acuerdo con el DRNA requiere una inversión estimada de 33 millones de dólares para mejorar su sistema durante la vigencia del acuerdo, incluyendo específicamente la estación de bombas De Diego. Las mejoras incluyen la obtención de los permisos adecuados, la implementación del Programa de Manejo de Aguas Pluviales, la instalación y el mantenimiento de señales de advertencia y barreras en las salidas de las estaciones de bombeo, la limpieza y el mantenimiento rutinarios, el desarrollo de métodos de muestreo y eliminación de lodos, y la creación de planes de prevención y respuesta ante derrames (USDOJ, 2015). Además, el DRNA debe instalar equipos de monitoreo electrónico y accesorios de iluminación en los pozos húmedos de las estaciones de bombeo, además de pagar \$650,000 anuales en una Cuenta de Registro Judicial para apoyar los planes de trabajo para los sistemas de recolección que fluyen a estas estaciones de bombeo, incluyendo De Diego.

Análisis recientes de muestras de agua recogidas en la entrada del FCPS De Diego desde 2015 hasta 2024 revelan indicadores consistentes de contaminación, incluyendo altos niveles de coliformes fecales y enterococos, que exceden significativamente los estándares de calidad del agua de Puerto Rico para las aguas costeras (Martínez, 2024). También se detectaron contaminantes químicos, como el cobre, en concentraciones superiores a los límites reglamentarios de las aguas costeras, lo que subraya el potencial de contaminación de las aguas pluviales entrantes (Martínez, 2024).

A pesar de estos hallazgos, faltan datos sobre la calidad del agua en el punto de descarga en sí y los volúmenes de descarga, lo que impide una evaluación exhaustiva del impacto de las descargas de la estación de bombas de De Diego en el EBSJ. La ausencia de muestreo del punto de descarga y de datos sobre el caudal limita la evaluación de las cargas contaminantes y sus efectos potenciales sobre el ecosistema estuarino. La incorporación de esta instalación al marco del NPDES permitirá el seguimiento y el manejo sistemático de las descargas, garantizando el cumplimiento de las normas de calidad del agua y la protección de la vida acuática y los usos recreativos del estuario.

1175 **Actividades**

Actividad	Métricas de cumplimiento	Metas	Parte(s) interesada(s) y socio(s) responsable(s)	Estatus	Periodo de tiempo	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Presentar una petición para incluir la estación de bombeo en el permiso.	Finalización de la petición.	Petición presentada.	Líder: Estuario Socios ejecutivos: DRNA, agencias reguladoras	Pendiente	0-2 años	A determinarse	USEPA
2. Obtener la aprobación de la petición.	Acciones prioritarias para obtener la aprobación de la petición.	Petición aprobada.	Líder: USEPA Socio ejecutivo: DRNA	Pendiente	0-2 años	A determinarse	USEPA, DRNA
3. Monitorear el nuevo punto de descarga.	Datos recogidos del punto de descarga.	Estación de bombeo incluida en el permiso NPDES.	Líder: DRNA Socios ejecutivos: USEPA, Estuario	Pendiente	5+ años	A determinarse	USEPA, DRNA

1176 **Requisitos reglamentarios y de política pública**

1177 Se requiere la aprobación de la USEPA para incluir la FCPS de De Diego en la modificación del permiso
1178 NPDES.

1179 **Referencias**

1180 Bauzá-Ortega J. 2015. Plan de Adaptación al Cambio Climático del Estuario de la Bahía de San Juan. San Juan,
1181 PR: Programa del Estuario de la Bahía de San Juan.

1182 Burgos-López, C. 2025. Entendiendo las Superficies Urbanas: Soluciones basadas en la naturaleza (NbS)
1183 para el manejo de las aguas pluviales. Journal of Water Resource and Protection, 17, 307-321.
1184 <https://doi.org/10.4236/jwarp.2025.175015>.

1185 DRNA. 2020. Plan Comprensivo para el Manejo de los Recursos Acuáticos de Puerto Rico.
1186 <https://www.drna.pr.gov/oficinas/plan-integral-de-recursos-de-agua-de-puerto-rico/>.

1187 DRNA. Octubre 2016. Programa de Manejo de Aguas Pluviales (SWMP). [https://www.drna.pr.gov/wp-](https://www.drna.pr.gov/wp-content/uploads/2017/04/DNER-MS4-SWMP-10-27-16_FINAL-SIGNED.pdf)
1188 [content/uploads/2017/04/DNER-MS4-SWMP-10-27-16_FINAL-SIGNED.pdf](https://www.drna.pr.gov/wp-content/uploads/2017/04/DNER-MS4-SWMP-10-27-16_FINAL-SIGNED.pdf).

1189 Estuario. N.D. Plan de Usos de Terrenos (en el estuario). <https://estuario.org/uso-de-terrenos/>.

1190 Lugo, A.E. y J.F. Bauzá Ortega. 2024. Estuario de la Bahía de San Juan: Historia de la Investigación y
1191 Oportunidades. EPA/600/R-23/308.

1192 Martínez, G. 2024. Universidad de Puerto Rico, Recinto de Mayagüez. *De Diego Water Pump Report*.
1193 <https://estuario.org/wp-content/uploads/2025/05/UPR-De-Diego-pump-report-9-6-24-compressed.pdf>.

1194 Proyecto ENLACE. Plan Maestro de Infraestructura Integral del Caño Martín Peña. 2022.
1195 [https://issuu.com/canomartinpena/docs/20220902-plan_maestro_integral_infraestructura-](https://issuu.com/canomartinpena/docs/20220902-plan_maestro_integral_infraestructura_re?fr=xKAE9_zU1NQ)
1196 [_re?fr=xKAE9_zU1NQ](https://issuu.com/canomartinpena/docs/20220902-plan_maestro_integral_infraestructura_re?fr=xKAE9_zU1NQ).

- 1197 Ramírez, A., A. Engman, K. G. Rosas, O. Perez Reyes, y D. M. Martínó Cardona. 2012. Impactos urbanos en
1198 arroyos de islas tropicales: algunos aspectos clave que influyen en la respuesta de los ecosistemas.
1199 Ecosistemas urbanos 15:315-325.
- 1200 Santos Flores C.J., y Martínez-Rodríguez A. 2020. Caracterización Preliminar del Plancton de la Laguna San
1201 José, Puerto Rico.
- 1202 USACE. 2023. Proyecto de Reducción de Daños por Inundaciones del Río Puerto Nuevo.
1203 <https://www.saj.usace.army.mil/About/Divisions-Offices/Antilles-Office/Rio-Puerto-Nuevo/>.
- 1204 USGBC. 2023. Sistema de Clasificación LEED. <https://www.usgbc.org/leed>.
- 1205 *United States of America v. The Municipality of San Juan, The Puerto Rico Department of Natural and*
1206 *Environmental Resources, the Puerto Rico Department of Transportation and Public Works, The Puerto Rico*
1207 *Highway and Transportation Authority, and The Commonwealth of Puerto Rico*. Decreto de consentimiento.
1208 Octubre de 2015. [https://estuario.org/wp-](https://estuario.org/wp-content/uploads/2020/10/united_states_v._san_juan_municipality_of.pdf)
1209 [content/uploads/2020/10/united_states v. san_juan_municipality_of.pdf](https://estuario.org/wp-content/uploads/2020/10/united_states_v._san_juan_municipality_of.pdf)
- 1210 USDOJ. 2015. *Puerto Rico's Government to Make Major Upgrades to San Juan Water Infrastructure in Settlement*
1211 *with the Federal Government*. [https://www.justice.gov/archives/opa/pr/puerto-rico-s-government-make-](https://www.justice.gov/archives/opa/pr/puerto-rico-s-government-make-major-upgrades-san-juan-water-infrastructure-settlement-federal)
1212 [major-upgrades-san-juan-water-infrastructure-settlement-federal](https://www.justice.gov/archives/opa/pr/puerto-rico-s-government-make-major-upgrades-san-juan-water-infrastructure-settlement-federal).
- 1213 USEPA. 2023. *Developing a Stormwater Pollution Prevention Plan (SWPPP)*.
1214 <https://www.epa.gov/npdes/developing-stormwater-pollution-prevention-plan-swppp>.
- 1215 USEPA. 2021. ¿Qué es la infraestructura verde? Consultado en:
1216 <https://19january2021snapshot.epa.gov/green-infrastructure/what-green-infrastructure.html>.
- 1217 USEPA. 2016. *Green Building*. <https://archive.epa.gov/greenbuilding/web/html/>.
- 1218 USEPA. 2015. Investigación de la infraestructura verde en climas tropicales. Consultado en:
1219 <https://www.epa.gov/eco-research/researching-green-infrastructure-tropical-climates>.
- 1220 Webb, R. M. T., y F. Gómez Gómez 1998. Estudio sinóptico de la calidad del agua y los sedimentos del fondo,
1221 sistema estuarino de la Bahía de San Juan, Puerto Rico, diciembre 1994-julio 1995. Water Resources
1222 Investigations Report 97-4144. U.S. Geological Survey, San Juan, PR.

Infraestructura para mitigar la erosión y el transporte de sedimentos

Base científica

La transferencia de sedimentos a los estuarios es un proceso natural; sin embargo, la erosión, que es el desprendimiento y movimiento de partículas de suelo o roca por el agua, el viento u otras fuerzas naturales, es un factor clave que influye en la generación y transporte de sedimentos (USDA, 2017). En los entornos urbanos, la erosión a menudo se ve acelerada por las actividades humanas que perturban la superficie terrestre, lo que hace muy relevante tomarla en cuenta en el manejo de sedimentos en el EBSJ. Las influencias antropogénicas han alterado drásticamente tanto la cantidad como la calidad de los sedimentos que entran en el EBSJ.

Ríos, arroyos, escorrentías superficiales y descargas puntuales aportan sedimentos al EBSJ. Cuando se produce una sedimentación excesiva en un cuerpo de agua, los valores funcionales del sistema pueden resultar perjudicados. Los sedimentos son capaces de modificar la columna de agua de manera que inhiben importantes funciones biológicas (fotosíntesis, fijación del nitrógeno y migración). Por lo tanto, es importante evaluar el papel que desempeñan los sedimentos en la determinación de la productividad y la diversidad del sistema. Los sedimentos suspendidos en la columna de agua atenúan la transmisión de la luz al tiempo que reducen o inhiben la productividad primaria del sistema. Cuando cargas excesivas de sedimentos entran en las aguas del estuario, los corales, las praderas marinas y las algas quedan enterrados y mueren. Los detritus de este proceso forman sedimentos que consumen oxígeno y devuelven los nutrientes a la columna de agua, causando el floramiento de algas nocivas (HAB, por sus siglas en inglés) y provocando un deterioro de la salud general del sistema.

Los cambios en el uso y la ocupación del suelo, en particular la urbanización con alta alteración, como las superficies impermeables, modifican drásticamente los procesos hidrológicos naturales. Estos cambios reducen la infiltración, aumentan la escorrentía superficial y potencian la erosión y el transporte de sedimentos a los cuerpos de agua. Las prácticas de manejo de aguas pluviales regidas por normativas, como el Reglamento 40 de Puerto Rico, desempeñan un papel crítico en el control de la erosión y la sedimentación al ordenar BMP que mitigan la escorrentía y la pérdida de suelo (DRNA, 2019). La integración de estos marcos regulatorios con la planificación del uso del suelo es esencial para controlar la generación de sedimentos en su origen.

La proliferación de superficies impermeables, como las carreteras y los edificios, exacerba estos problemas al aumentar la escorrentía y reducir la absorción natural de las lluvias, lo que acelera la erosión y el transporte de sedimentos. Además, la falta de infraestructura adecuada para el manejo de las aguas pluviales, unida a la alteración del uso y la cubierta del suelo, intensifica la erosión del suelo y el transporte de sedimentos al estuario, lo que socava la salud del ecosistema y aumenta el riesgo de inundaciones.

La urbanización, las modificaciones topográficas y la deforestación han aumentado significativamente la deposición de materiales orgánicos, nutrientes, metales pesados y otros contaminantes, disminuyendo la claridad del agua y afectando negativamente a la vida acuática del estuario. Estos contaminantes crean condiciones perjudiciales para el crecimiento de las praderas marinas, los moluscos y los invertebrados bentónicos, lo que da lugar a sedimentos fangosos que pueden consumir oxígeno y liberar nutrientes en la columna de agua. El flujo de esos nutrientes contribuye a las floraciones de algas nocivas, condiciones

hipóxicas y muerte de peces, especialmente en condiciones anaeróbicas en las que pueden entrar en el agua ortofosfato, nitratos y trazas de metales.

El EBSJ ha sufrido una marcada degradación, agravada por la rápida urbanización desde mediados del siglo XX. Históricamente, el desarrollo urbano en Puerto Rico se caracterizó por una rápida expansión con una supervisión ambiental limitada, lo que provocó una deforestación generalizada, la alteración del suelo y una infraestructura mal planificada (Martinuzzi et al., 2007). Muchas comunidades se desarrollaron de manera informal sin medidas adecuadas de control de las aguas pluviales y la erosión, lo que provocó un aumento de la carga de sedimentos en los cuerpos de agua. Este legado sigue afectando hoy la dinámica de la erosión y el transporte de sedimentos en la cuenca.

La construcción de viviendas precarias en humedales de manglares sensibles ha provocado la acumulación de sedimentos, escombros y residuos, obstruyendo el flujo hidráulico entre la laguna San José y la bahía de San Juan. La mitad oriental del Caño Martín Peña, que alguna vez tuvo entre 200 y 400 pies de ancho, ahora está altamente comprometida, obstruida con sedimentos y contaminantes que obstaculizan su función ecológica (Brodine, 2017).

El manejo eficaz de la erosión y del transporte de sedimentos es esencial para mantener la salud ecológica y la integridad funcional del EBSJ. Este enfoque es vital para restaurar la capacidad del canal para transportar sedimentos y contaminantes de manera efectiva, mejorando así la calidad del agua y las condiciones del hábitat en todo el estuario. Existe una conexión entre los patrones de desarrollo urbano, la eficacia del manejo de las aguas pluviales y la erosión y el transporte de sedimentos dentro de la cuenca. Una escorrentía urbana mal gestionada puede aumentar los índices de erosión, lo que a su vez puede elevar las cargas de sedimentos que entran en el estuario, degradando la calidad del agua y los hábitats acuáticos. Un manejo eficaz de las aguas pluviales que incluya medidas de control de la erosión es, por tanto, crucial para romper este ciclo y promover la restauración y la resiliencia del estuario.

Objetivos

- Manejar los sedimentos y contaminantes que llegan al sistema estuarino procedentes de las modificaciones topográficas, el aumento de las zonas impermeables y la deforestación.
- Reducir las modificaciones topográficas, las zonas impermeables y la deforestación.

Acciones

WS-09 Minimizar las cargas de sedimentos que llegan al sistema del EBSJ.

Referencias

Las especies acuáticas se ven afectadas por los efectos de la urbanización en los hábitats acuáticos, especialmente en los ríos y tributarios del EBSJ. La erosión modifica la profundidad y la anchura del canal, aumenta la deposición de sedimentos y provoca cambios en la temperatura y la química del agua (Ramírez et al., 2009, 2012). El manejo de los sedimentos es un componente crítico para mantener la salud ecológica y la integridad funcional del sistema del EBSJ.

Se proponen cientos de millones de dólares en dragados para restaurar las aguas del EBSJ como consecuencia de las descargas de sedimentos y basura (Coto, 2024). Esta es la forma más cara de asumir el transporte de sedimentos. El método menos costoso es eliminar los sedimentos de las descargas mediante

la estabilización y el mantenimiento. El barrido de las calles para eliminar los sedimentos antes de que lleguen al sistema de aguas pluviales es otra BMP que reduce la necesidad de un mantenimiento más costoso dentro de los sistemas de aguas pluviales. Esto evita que los sedimentos se descarguen en el EBSJ, donde perjudican el medioambiente y cuesta más eliminarlos.

Para minimizar eficazmente la carga de sedimentos en el EBSJ, es esencial tomar decisiones informadas sobre el manejo del uso del suelo y el desarrollo. La modelización desempeña un papel fundamental en este proceso, ya que proporciona una base científica para predecir el impacto de los distintos usos del suelo en la dinámica de los sedimentos. Los modelos pueden ayudar a identificar las zonas críticas en las que es probable que se agrave la carga de sedimentos debido a los cambios en el uso del suelo. También pueden evaluar la eficacia de posibles estrategias de mitigación, como la aplicación de BMP o la modificación de los permisos de urbanización para reducir al mínimo las superficies impermeables.

Actividades

Actividad	Métricas de cumplimiento	Metas	Parte(s) interesada(s) y socio(s) responsable(s)	Estatus	Periodo de tiempo	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Evaluar las fuentes actuales de sedimentos y las tasas de sedimentación dentro de los límites del EBSJ.	Mejora de la información sobre fuentes y masa.	Evaluar las fuentes de sedimentos y las tasas de sedimentación identificadas.	Líder: DRNA, Estuario Socios ejecutivos: Academia, comunidad científica	En curso	0-2 años	A determinarse	DRNA, USEPA
2. Colaborar con las partes interesadas para desarrollar BMP para medidas de control de la erosión.	Reducir las cargas de sedimentos en el EBSJ.	Establecer un conjunto de BMP para el control de la erosión.	Líder: DRNA, Estuario Socios ejecutivos: Academia, comunidad científica	Pendiente	0-2 años	A determinarse	DRNA, USEPA
3. Aplicar los reglamentos y establecer directrices para reducir la escorrentía de sedimentos durante la construcción y las actividades agrícolas.	Mejorar el control de la erosión y hacer cumplir la normativa en las obras.	Garantizar el cumplimiento de la normativa y las directrices.	Líder: DRNA, USEPA, PRDA, USDA Socios ejecutivos: Academia, comunidad científica, Estuario	Pendiente	3-5 años	A determinarse	DRNA, USEPA, PRDA, USDA
4. Aumentar el barrido de las calles municipales.	Reducir las cargas de sedimentos en el EBSJ.	Reducción de las cargas de sedimentos.	Líder: Municipios, DTOP	Pendiente	0-2 años	A determinarse	Municipios, DTOP

Requisitos reglamentarios y de política pública

Pueden ser necesario modificar los códigos y ordenanzas municipales para incorporar las BMP de control de la erosión.

WS-10 Desarrollar criterios para sustancias tóxicas en los sedimentos del EBSJ.

Referencias

Los contaminantes tóxicos incluyen sustancias de origen humano y natural que, cuando se encuentran en determinadas concentraciones, pueden causar efectos adversos en el ecosistema o en la salud humana. Los contaminantes tóxicos pueden entrar en el sistema del estuario a través de la escorrentía de aguas pluviales procedentes de zonas urbanas, terrenos agrícolas, puertos deportivos y emplazamientos industriales. Las sustancias tóxicas pueden encontrarse en el agua, adheridas a los sedimentos y en plantas y animales.

Se han detectado contaminantes como metales pesados y contaminantes orgánicos, que plantean riesgos tanto para la vida acuática como para la salud humana. Los datos recientemente disponibles sobre la concentración de metales pesados en los sedimentos del EBSJ muestran disminuciones en las concentraciones de la mayoría de los metales, aunque tanto el arsénico como el cromo aumentaron, y la muestra compuesta de sedimento por encima de la interfaz de arcilla en la extensión del canal San Antonio (cerca de Condado) tenía concentraciones más altas de cobre, mercurio, níquel y plata (Anamar Environmental Consulting, Inc., 2021). El tratamiento de estos contaminantes requiere esfuerzos de limpieza específicos para mitigar sus efectos en los ecosistemas del estuario.

La caracterización y la dinámica de los aportes atmosféricos al EBSJ a través de diversas fuentes como las precipitaciones, la deposición seca, el polvo sahariano y otras fuentes antropogénicas son áreas críticas de estudio que requieren una mayor atención. Comprender estos aportes atmosféricos es esencial para evaluar su impacto potencial sobre el sistema estuarino y la salud de las poblaciones acuáticas y humanas.

También es necesario prestar atención científica a la determinación de los umbrales de toxicidad o estrés para los diversos organismos y seres humanos expuestos a las sustancias químicas tóxicas, pesadas y novedosas que ahora se almacenan en los sedimentos y entran a diario en el EBSJ. Establecer estos umbrales es vital para salvaguardar la salud del ecosistema y de las comunidades que dependen de él. Los umbrales de toxicidad pueden servir de base a las normas y regulaciones, ayudando a garantizar que los niveles de contaminantes se mantengan dentro de los límites seguros para la vida acuática y para las poblaciones humanas.

Un objetivo clave de esta acción es desarrollar criterios tóxicos adaptados específicamente a las especies tropicales y a los hábitats que se encuentran en el EBSJ. Estos criterios proporcionarán umbrales con base científica que reflejen las sensibilidades únicas de los ecosistemas tropicales, garantizando que los esfuerzos de manejo y regulación protejan eficazmente estos entornos vulnerables.

1346 **Actividades**

Actividad	Métricas de cumplimiento	Metas	Parte(s) interesada(s) y socio(s) responsable(s)	Estatus	Periodo de tiempo	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Seleccionar los parámetros de interés en función de las sustancias presentes en el EBSJ que plantean riesgos para la salud humana y la vida acuática.	Parámetros objetivo para reducir los sedimentos.	Identificar y definir los contaminantes clave.	Líder: USEPA, DRNA Socios ejecutivos: academia, comunidad científica	Pendiente	3-5 años	A determinarse	USEPA, DRNA
2. Establecer criterios de contaminantes para la calidad de los sedimentos.	Mejorar la calidad de los sedimentos en el sistema del EBSJ.	Reducir los contaminantes identificados.	Líder: USEPA, DRNA Socio ejecutivo: Estuario	Pendiente	5+ años	A determinarse	USEPA, DRNA

1347 **Requisitos reglamentarios y de política pública**

1348 Es posible que sea necesario enmendar el Reglamento para el Control de la Erosión y la Sedimentación del
1349 DRNA según los resultados del estudio.

1350 **HW-21 Actualizar el Plan de Usos de Terrenos de Puerto Rico cada diez años.**

1351 **Referencias**

1352 La actualización del mapa de uso de terrenos para el EBSJ es un paso crítico en el manejo efectivo de la
1353 salud ecológica del sistema. La urbanización y los patrones de uso de la tierra influyen significativamente en
1354 la generación de aguas pluviales y el transporte de contaminantes dentro del EBSJ, impactando la calidad
1355 del agua y la funcionalidad general del sistema estuarino. A medida que el desarrollo continúa, es esencial
1356 tener una representación precisa y actualizada del uso de la tierra para informar los procesos de toma de
1357 decisiones relacionados con el manejo de la tierra y la protección del medioambiente.

1358 El Plan de Usos de Terrenos de Puerto Rico (2015) (PUT) es el instrumento de planificación que rige la
1359 política pública de uso, desarrollo y conservación de los terrenos en Puerto Rico. El PUT deberá revisarse
1360 cada diez años, según establece la Ley 550 de 2004 en su artículo 12. Este plan divide el suelo según sus
1361 características y valores existentes y potenciales en tres categorías básicas establecidas en el Código
1362 Municipal (Ley 107-2020): suelo urbano, suelo urbanizable y suelo rústico.

1363 El PUT sirve como marco para realinear y mejorar los planes, programas y procedimientos de las agencias
1364 estatales para alcanzar sus metas y objetivos. Es importante destacar que no pretende contradecir las
1365 normativas y procedimientos de autorización estatales existentes. Este instrumento de planificación sienta
1366 las bases para la planificación local de los municipios.

1367 En la región del EBSJ, predominantemente urbana, son evidentes los desarrollos de alta densidad y una alta
1368 densidad de población. Aproximadamente el 60 % de este territorio está clasificado como "suelo urbano",
1369 mientras que el 14 % está designado como "sistema vial" (Estuario, 2025). Además, debido a la presencia de
1370 algunas zonas protegidas, el 16 % está clasificado como "suelo rústico especialmente protegido-ecológico".

1371 La colaboración con los socios locales es vital para garantizar que los mapas actualizados de uso del suelo
1372 recojan con precisión el desarrollo reciente. La colaboración puede facilitar la recopilación de fuentes de
1373 datos y conocimientos locales, lo que conducirá a una comprensión más completa de cómo los cambios en
1374 el uso del suelo afectan la hidrología y la dinámica de los sedimentos en el EBSJ.

1375 Incorporar las últimas investigaciones y modelos científicos al proceso de cartografía del uso del suelo
1376 aportará a minimizar eficazmente la carga de sedimentos en el EBSJ. Esto incluye la comprensión de las
1377 relaciones entre el uso del suelo, la escorrentía de aguas pluviales y el transporte de contaminantes. Al
1378 identificar las zonas especialmente vulnerables a la erosión y la sedimentación, las partes interesadas
1379 pueden aplicar estrategias de manejo específicas y mejores prácticas que mitiguen estos impactos.

1380 **Actividades**

Actividad	Métricas de cumplimiento	Metas	Parte(s) interesada(s) y socio(s) responsable(s)	Estatus	Periodo de tiempo	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Realizar una revisión exhaustiva de los datos existentes sobre el uso del terreno, incluido el mapa de la cubierta terrestre del SWMP.	Identificar las discrepancias, información obsoleta o lagunas en los datos.	Identificar las áreas clave donde existen lagunas de datos y que son prioridad para abordar.	Líder: DRNA, Estuario Socios ejecutivos: municipios, academia, comunidad científica.	Pendiente	0-2 años	A determinarse	USEPA, DRNA
2. Involucrar a las partes interesadas y a los miembros de la comunidad en el proceso de actualización del plan.	Participación de la comunidad en el proceso de actualización del plan.	Se celebrarán reuniones con las partes interesadas y la comunidad.	Líder: DRNA, Estuario Socios ejecutivos: municipios, academia, comunidad científica.	Pendiente	0-2 años	A determinarse	USEPA, DRNA
3. Integrar los hallazgos en el PUT actualizado y recabar opiniones.	PUT actualizado mediante la colaboración y asociación con las principales partes interesadas.	Se distribuirá el PUT actualizado a los principales interesados.	Líder: DRNA, Estuario Socios ejecutivos: municipios, academia, comunidad científica.	Pendiente	0-2 años	A determinarse	USEPA, DRNA

1381 **Requisitos reglamentarios y de política pública**

1382 Es posible que se requieran modificaciones a los reglamentos y códigos de desarrollo local si las
1383 categorizaciones de uso de la tierra cambian con la actualización del Plan de Usos de Terrenos.

****NUEVA-1*** Evaluar tecnologías y enfoques para el uso beneficioso y disposición de material dragado en el EBSJ como recubierta (capping).*

Referencias

La sedimentación en el EBSJ ha sido un problema de muchos años, impulsado principalmente por el desarrollo urbano, el manejo inadecuado de las aguas pluviales y las descargas ilícitas. El desarrollo urbano aumenta las superficies impermeables, como las carreteras y los edificios, que aceleran la velocidad y el volumen de la escorrentía. Así aumenta la erosión y el transporte de sedimentos al estuario. Un manejo inadecuado de las aguas pluviales no consigue mitigar eficazmente estos efectos, sino que permite que una escorrentía excesiva cargada de sedimentos entre en la cuenca. Las descargas ilícitas aportan más contaminantes y materia orgánica que agravan la degradación de la calidad de los sedimentos. Estos factores han provocado un aumento de la afluencia de sedimentos y nutrientes al estuario, afectando la calidad del agua y el equilibrio ecológico. Los datos históricos muestran que las cargas de sedimentos han fluctuado, a menudo exacerbadas por la intensa escorrentía urbana y la acción del oleaje oceánico. La sedimentación resultante disminuye la transparencia del agua, perjudica la fotosíntesis de las plantas acuáticas y las algas y contribuye a la eutrofización, que provoca un enriquecimiento excesivo de nutrientes y la proliferación de macroalgas (Aponte Marcano, 2020).

Las actividades humanas, como el dragado y el relleno, así como las descargas de aguas pluviales y de alcantarillado, han afectado directamente a la bahía de San Juan. Los sedimentos del fondo del EBSJ se acumulan a tasas relativamente altas, con las tasas más rápidas en el Caño Martín Peña y las más bajas en Piñones. Oczkowski et al. (2020) realizaron un estudio de la tasa temporal de acumulación de sedimentos en cinco lugares del EBSJ y descubrieron que, donde no se había dragado, la tasa de acumulación oscilaba entre 0.03 y 0.3 gramos por centímetro cúbico al año y que las tasas de acumulación aumentaron después de la década de 1960. Los sedimentos depositados recientemente tenían mayores concentraciones de materia orgánica, nitrógeno y fósforo que los sedimentos depositados entre 1900 y 1950.

El USACE evaluó las fuentes de arena y las fosas de dragados previos, para eliminar allí los nuevos sedimentos dragados. Se evaluaron tecnologías como el reciclado de vidrio para fabricar arena, pero no se seleccionaron debido a la escasez de datos. La innovación científica en tales tecnologías puede ayudar a darle un uso beneficioso al material dragado. Históricamente, los materiales se dragaban del EBSJ para utilizarlos en la construcción, en detrimento del propio sistema estuarino. Estas prácticas históricas no tenían en cuenta el equilibrio ecológico, lo que provocaba la alteración de los sedimentos y la propagación de la contaminación. En la actualidad, los lodos dragados se utilizan para reparar esas depresiones de dragado (Ellis, 1976). Los desechos de dragado procedentes de la profundización y ampliación de la bahía de San Juan se solían almacenar para rellenar las fosas del dragado de la Laguna del Condado. Los materiales de dragado para restaurar el flujo del Caño Martín Peña se proponen para rellenar las hondonadas de dragado en la laguna San José (USACE, 2016).

Dada esta dinámica de sedimentos y los impactos históricos, es fundamental identificar y evaluar las áreas potenciales donde la reutilización beneficiosa del material dragado puede apoyar la restauración o creación de hábitats. Esto incluye la caracterización de la idoneidad física y química de los sedimentos dragados para diferentes aplicaciones ecológicas, como la restauración de humedales, la estabilización de la costa o la creación de hábitats bentónicos. Las zonas en las que los sedimentos aportan nutrientes y otros contaminantes al sistema y afectan negativamente a las especies acuáticas podrían beneficiarse del dragado o del tapado para mejorar la calidad del agua y las condiciones ecológicas. La elección entre estos

1426 distintos enfoques depende de las características específicas de los sedimentos y de los objetivos de
1427 restauración del lugar.

1428 Los efectos de las actividades de dragado sobre los componentes bentónicos y pelágicos de los cuerpos de
1429 agua estuarinos no se conocen del todo y, por tanto, deben atenderse. La evaluación de los impactos
1430 potenciales del dragado sobre estos componentes ecológicos es esencial para desarrollar estrategias de
1431 manejo eficaces que equilibren la eliminación de los sedimentos con la preservación de los hábitats
1432 acuáticos.

1433 **Actividades**

Actividad	Métricas de cumplimiento	Metas	Parte(s) interesada(s) y socio(s) responsable(s)	Estatus	Periodo de tiempo	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Identificar los lugares con sedimentos orgánicos o contaminados en el sistema EBSJ.	Mejora de la comprensión de las propiedades de los sedimentos en el sistema del EBSJ.	Encuesta para cartografiar los lugares con sedimentos orgánicos o contaminados.	Líder: USACE, DRNA, Estuario Socios ejecutivos: municipios, academia, comunidad científica.	En curso	0-2 años	A determinarse	USEPA, DRNA y Ley de Desarrollo de Recursos Hídricos (WRDA)
2. Determinar técnicas y tecnologías para tratar los sedimentos orgánicos o contaminados en cada lugar prioritario.	Mejora de la aplicación de técnicas de dragado y tapado.	Estudio de viabilidad para lugares prioritarios.	Líder: USACE, DRNA Socios ejecutivos: municipios, academia, comunidad científica	En curso	3-5 años	A determinarse	USEPA, USACE, DRNA, WRDA
3. Ejecutar un proyecto utilizando tecnologías y técnicas seleccionadas para atender los lugares prioritarios de sedimentación.	Mejora de la salud de los sedimentos en el sistema del EBSJ.	Proyectos de rehabilitación de sedimentos en los lugares prioritarios.	Líder: USACE, DRNA Socios ejecutivos: municipios, academia, comunidad científica	Pendiente	5+ años	A determinarse	USEPA, DRNA y WRDA

1434 **Requisitos reglamentarios y de política pública**

1435 El USACE y otros organismos pueden solicitar permisos para instalar dispositivos de control y realizar
1436 actividades de control. Los datos recogidos impulsarán cambios políticos hacia estrategias de dragado y
1437 relleno más eficientes y sostenibles para mejorar los sedimentos en el EBSJ.

1438 ****NUEVA-2* Aumentar la cubierta arbórea y vegetal en las zonas urbanas y costeras del EBSJ.***

1439 **Referencias**

1440 La deforestación es un problema medioambiental apremiante que afecta a los ecosistemas de todo el
1441 mundo, y el sistema del EBSJ no es una excepción. El EBSJ es un recurso ecológico y económico vital, que
1442 proporciona hábitat a diversas especies marinas y terrestres, sustenta la pesca local y sirve de centro
1443 neurálgico para el turismo y el comercio. Sin embargo, la urbanización, la expansión agrícola y el desarrollo

1444 industrial han provocado una importante deforestación en la región, amenazando su integridad ecológica y
1445 el bienestar de las comunidades locales.

1446 La urbanización es uno de los principales motores de la deforestación en la cuenca del EBSJ. El rápido
1447 crecimiento de San Juan y los municipios circundantes ha provocado la conversión de paisajes naturales en
1448 zonas residenciales, comerciales e industriales. A medida que aumenta la población, se intensifica la
1449 demanda del suelo para viviendas, infraestructura y servicios, lo que provoca la tala de bosques y otros
1450 hábitats naturales (Martinuzzi et al., 2007).

1451 El desarrollo también hace que la cubierta arbórea restante sea más vulnerable a los fenómenos
1452 meteorológicos extremos. Se estima que 31 millones de árboles murieron como consecuencia del huracán
1453 María, junto con la defoliación de aproximadamente el 88 % de los bosques urbanos, impactos en el 50 %
1454 de la cubierta de manglares y la pérdida del 28 % de los árboles de la ciénaga Las Cucharillas (Torres
1455 Barreto, 2019).

1456 Aunque el EBSJ es una cuenca altamente urbanizada, existen cinco bosques urbanos que se encuentran
1457 dentro de los límites del sistema estuarino: el Bosque Estatal San Patricio, el Bosque Estatal Piñones, el
1458 Parque Nacional Julio Enrique Monagas, el Parque Arboretum Doña Inés y el Parque Luis Muñoz Rivera. Es
1459 importante que se protejan estos recursos y se añadan copas de árboles, cuando sea posible, para
1460 aumentar la resistencia durante las tormentas y proporcionar sombra y protección contra el calor a los
1461 miembros de la comunidad.

1462 El inventario de biodiversidad de todos los sistemas ecológicos del EBSJ debería actualizarse para reflejar las
1463 condiciones y tendencias actuales. Este inventario ayudará a identificar las especies presentes, incluidas las
1464 alóctonas, y a evaluar sus funciones y servicios ecológicos. Aunque a veces las especies alóctonas pueden
1465 aportar beneficios, como el control de la erosión o la estructura del hábitat, también pueden perturbar los
1466 ecosistemas locales, superar a las especies autóctonas y alterar las condiciones del hábitat. Comprender el
1467 impacto de las especies alóctonas es crucial para desarrollar estrategias de manejo eficaces que den
1468 prioridad a la restauración de la vegetación autóctona y a la mejora de los servicios ecosistémicos.

1469 **Actividades**

Actividad	Métricas de cumplimiento	Metas	Parte(s) interesada(s) y socio(s) responsable(s)	Estatus	Periodo de tiempo	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Evaluar la cuenca para identificar ubicaciones urbanas clave donde aumentar la cubierta vegetal para conectar zonas verdes.	Ubicaciones identificadas para las necesidades de cubierta arbórea.	Completar una evaluación para identificar ubicaciones urbanas clave con cubierta arbórea insuficiente.	Líder: DRNA, USFS, NRCS Socios ejecutivos: municipios, instituciones académicas, organizaciones locales, Estuario	Pendiente	0-2 años	A determinarse	DRNA, USFS, NRCS

Actividad	Métricas de cumplimiento	Metas	Parte(s) interesada(s) y socio(s) responsable(s)	Estatus	Periodo de tiempo	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
2. Preparar un plan forestal urbano que identifique ubicaciones, tipos de árboles aceptados y requisitos de cuidado.	Planteamiento para satisfacer las necesidades de dosel arbóreo en las zonas urbanas.	Identificar especies arbóreas adecuadas para entornos urbanos.	Líder: DRNA, USFS, NRCS Socios ejecutivos: municipios, instituciones académicas, Estuario	Pendiente	3-5 años	A determinarse	DRNA, USFS, NRCS
3. Aplicar el plan plantando árboles en los lugares prioritarios identificados.	Aumento del dosel arbóreo en las zonas urbanas.	Plantar árboles en los lugares prioritarios identificados.	Líder: DRNA, USFS, NRCS Socios ejecutivos: Municipios, organizaciones locales	Pendiente	5+ años	A determinarse	DRNA, USFS, NRCS, USEPA

- 1470 **Requisitos reglamentarios y de política pública**
- 1471 Puede ser necesario modificar las normativas y códigos de desarrollo locales para incentivar la plantación
- 1472 de árboles autóctonos.
- 1473 ***NUEVA-3* Modelización de nutrientes y sedimentos en la cuenca del EBSJ.**
- 1474 **Referencias**
- 1475 Del 2020 al 2024, el Dr. Luís Pérez Alegría, de la Universidad de Puerto Rico en Mayagüez, modeló las cargas
- 1476 de sedimentos y nutrientes dentro de la cuenca del EBSJ con base en las partículas del suelo (arenas, limos y
- 1477 arcillas) y nutrientes como el fósforo total y el nitrógeno. El modelo es de simulación hidrológica continua
- 1478 que incorpora datos meteorológicos con las características hidrográficas e hidráulicas de la red de canales y
- 1479 arroyos de la cuenca del EBSJ. El modelo es obra del Centro de Modelización Hidrológica del USACE y se
- 1480 denomina Sistema de Modelización Hidrológica (HEC-HMS, por las siglas en inglés). El HEC-HMS simula los
- 1481 procesos de precipitación y escorrentía de cuencas hidrográficas como las contenidas en el área de
- 1482 captación del EBSJ (Kamal et al., 2022). Además, el HEC-HMS incluyó un módulo de Ecuación Universal
- 1483 Modificada de Pérdida de Suelo, que se aplicó a cada una de las subcuencas y se utilizó para estimar la
- 1484 carga de sedimentos generada por la acción antropogénica, el tipo de suelo, el uso de la tierra y la
- 1485 precipitación en cada una de las subcuencas del Estuario (Rodríguez González et al., 2022).
- 1486 Los modelos hidrodinámicos y de calidad del agua acoplados *Environmental Fluid Dynamics Code* (EFDC)/
- 1487 *Three-Dimensional Hydrodynamic Eutrophication Model* (HEM3D) se han aplicado para cuantificar la calidad
- 1488 potencial del agua proveniente de flujos de aguas pluviales, descargas industriales y otros flujos. El
- 1489 EFDC/HEM3D apoyado por USEPA incluye características y capacidades que lo hacen superior y más
- 1490 aplicable a ambientes estuarinos poco profundos que otros modelos (Florida Institute of Technology, 2023).

1491 **Actividades**

Actividad	Medidas de Desempeño	Metas	Parte(s) interesada(s) y socio(s) responsable(s)	Estatus	Periodo de tiempo	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Revisión y análisis de los datos existentes de modelización de nutrientes y sedimentos.	Recopilación de datos de carga de nutrientes y sedimentos de el área de estudio del EBSJ.	Determinación de las lagunas o limitaciones de los datos de modelización existentes que deban subsanarse.	Líder: DRNA Socios ejecutivos: municipios, academia, comunidad científica, Estuario	Pendiente	0-2 años	A determinarse	USEPA, DRNA
2. Actualizar los modelos a partir de los datos recogidos.	Mejora y actualización de los modelos de carga de nutrientes y sedimentos.	Lograr una correlación entre las cargas de nutrientes y sedimentos modeladas y observadas.	Líder: DRNA Socios ejecutivos: municipios, academia, comunidad científica.	Pendiente	3-5 años	A determinarse	USEPA, DRNA
3. Colaborar con las partes interesadas en las estrategias de manejo basadas en los resultados actualizados del modelo.	Identificación de las partes interesadas y diálogo para proponer nuevas estrategias.	Se celebrarán actos de participación de las partes interesadas y de la comunidad.	Líder: DRNA Socios ejecutivos: municipios, instituciones académicas, comunidad científica, Estuario.	Pendiente	0-2 años	A determinarse	USEPA, DRNA

1492 **Requisitos reglamentarios y de política pública**

1493 Es posible que sea necesario enmendar el Reglamento para el Control de la Erosión y la Sedimentación del
1494 DRNA en función de los resultados de los esfuerzos de modelización y los nuevos datos.

1495 **Referencias**

1496 Anamar Environmental Consulting Inc. 2021. MPRSA section 103 Sediment Characterization Testing and
1497 Analysis San Juan Harbor, Puerto Rico. Anamar Environmental Consulting, Inc., Gainesville, FL.

1498 Aponte Marcano, P.I. 2020. Impacto y vulnerabilidad de los arrecifes de coral y las praderas de yerbas
1499 marinas. Páginas 76-81 en Programa del Estuario de la Bahía de San Juan, editor. Diagnóstico de
1500 vulnerabilidad de la cuenca y el sistema del estuario de la bahía de San Juan ante el impacto de huracanes.
1501 Programa del Estuario de la Bahía de San Juan, San Juan, PR.

1502 Brodine, M. Diciembre 2017.Red de Aprendizaje de Aguas Urbanas. Proyecto ENLACE del Caño Martín Peña:
1503 Restaurando un Ecosistema y Construyendo Comunidades Resilientes en Puerto Rico. Consultado en:
1504 [https://urbanwaterslearningnetwork.org/resources/proyecto-enlace-del-cano-martin-pena-restoring-](https://urbanwaterslearningnetwork.org/resources/proyecto-enlace-del-cano-martin-pena-restoring-ecosystem-building-resilient-communities-puerto-rico/)
1505 [ecosystem-building-resilient-communities-puerto-rico/](https://urbanwaterslearningnetwork.org/resources/proyecto-enlace-del-cano-martin-pena-restoring-ecosystem-building-resilient-communities-puerto-rico/).

1506 Coto, D. Associated Press. 2023. *Comienza el dragado del mayor puerto de Puerto Rico a pesar de las*
1507 *advertencias de que puede dañar el medio ambiente*. AP News. [https://apnews.com/article/puerto-rico-san-](https://apnews.com/article/puerto-rico-san-juan-bay-dredging-environment-0a6a0c0cd0e197c0fb32593e0ca567e1)
1508 [juan-bay-dredging-environment-0a6a0c0cd0e197c0fb32593e0ca567e1](https://apnews.com/article/puerto-rico-san-juan-bay-dredging-environment-0a6a0c0cd0e197c0fb32593e0ca567e1).

- DRNA. 2019. *Reglamento para el Control de la Contaminación por Aguas Sanitarias y Manejo de Aguas Pluviales (Reglamento 40)*. Obtenido de <https://bibliotecalegalambiental.wordpress.com/wp-content/uploads/2019/10/reg5754k.pdf>.
- Ellis, S. R. (1976). *Historia del dragado y relleno de lagunas en el área de San Juan, Puerto Rico*. U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 76-38. <https://pubs.usgs.gov/wri/1976/0038/report.pdf>.
- Estuario. 2025. Plan de Ordenamiento Territorial. <https://estuario.org/uso-de-terrenos/>.
- Instituto Tecnológico de Florida. 2023. Zarillo, Gary, et al. Restore Lagoon Inflow Research (Phase 3) Final Report Task 2: Hydrologic Modeling. Julio de 2023.
- Ismail, H., Kamal, M.R., Mojid, M.A., Bin Abdullah, A.F. y Him, L.S. 2022. Loss method in HEC-HMS model for streamflow projection under climate change: a review. *Int. J. Hydrology Science and Technology*. Vol 13, No. 1, pp 23-42.
- Lugo, A.E. y J.F. Bauzá Ortega. 2024. Estuario de la Bahía de San Juan: Historia de la Investigación y Oportunidades. EPA/600/R-23/308.
- Martinuzzi, S., Gould, W. A., Ramos Gonzales O. M. 2007. Land Development, land use, and urban sprawl in Puerto Rico integrating remote sensing and population census data. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2006.02.014>.
- Servicio de Conservación de Recursos Naturales. 1996. Riparian Areas - Environmental Uniqueness, Functions, and Values. NRCS/RCA Issue Brief 11.
- Oczkowski, A. J., E. A. Santos, R. M. Martin, A. B. Gray, A. R. Hanson, E. B. Watson, E. Huertas y C. Wigand. 2020. Fuentes inesperadas de nitrógeno en un estuario urbano tropical. *Journal Geophysical Research, Biogeosciences* 125, e2019JGR005502.
- Gobierno de Puerto Rico. 2015. Plan de Usos de Terrenos de Puerto Rico. <https://jp.pr.gov/plan-de-usos-de-terrenos/>.
- Ramírez, A., R. De Jesús Crespo, D. M. Martinó Cardona, N. Martínez Rivera, y S. Burgos Caraballo. 2009. Arroyos urbanos en Puerto Rico: ¿qué podemos aprender de los trópicos? *Revista de la Sociedad Bentológica Norteamericana* 28:1070-1079. DOI: 1010.1899/1008-1165.1071.
- Ramírez, A., A. Engman, K. G. Rosas, O. Perez Reyes, y D. M. Martinó Cardona. 2012. Impactos urbanos en arroyos de islas tropicales: algunos aspectos clave que influyen en la respuesta de los ecosistemas. *Ecosistemas urbanos* 15:315-325.
- Rodríguez González, C.A., A. M. Rodríguez-Pérez, J. J. Caparrós Mancera, J.A. Hernández Torres, N. Gutiérrez Carmona, M.I. Bahamonde García. 2022. *J. Hid. e Hidromecánica*. 70. Vol.3, pp 341-356.
- Torres Barreto, B. 2019. Infraestructura verde, una apuesta por la resiliencia. *El Nuevo Día*. 15 de septiembre de 2019.
- USACE. 2016. Informe final de factibilidad: Proyecto de Restauración del Ecosistema Caño Martín Peña. Febrero de 2016.

1544 Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA). 2017. Control de la erosión y los sedimentos
1545 del suelo. Servicio de Conservación de Recursos Naturales.
1546 <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/main/national/technical/ecoscience/soil/erosion/>.

Infraestructura de drenaje e intercambio de agua

Base científica

La intervención humana en el flujo natural de las aguas del EBSJ ha tenido efectos significativos en el sistema. Hasta tiempos muy recientes, estos cambios tenían como único objetivo el beneficio económico y la calidad de vida humana. Muchos de estos cambios en el paisaje han provocado importantes cambios ecológicos. Aproximadamente el 85 % del paisaje de la cuenca del EBSJ ha sido alterado por el hombre, desde hace miles de años (Seguinot-Barbosa, 1983). Para entender el estado actual de la infraestructura de drenaje e intercambio de agua y comprender mejor los cambios necesarios para las condiciones ambientales y económicas actuales de la cuenca hidrográfica del EBSJ, es necesario comprender la hidrología y los cambios históricos del sistema.

La hidrología es el movimiento del agua y su relación con la tierra. Las modificaciones en el terreno situado bajo el agua o adyacente a ella pueden provocar cambios significativos en la hidrología y alterar el delicado equilibrio de un estuario. Los primeros cambios al EBSJ fueron hechos por poblaciones indígenas que deforestaron las áreas costeras para la agricultura y la construcción de granjas, lo que resultó en una erosión significativa, pero los cambios mayores comenzaron con la llegada de Ponce de León y el desarrollo de la bahía de San Juan a principios del siglo XVI (Seguinot-Barbosa, 1983). Desde entonces, el manejo de la hidrología del sistema del EBSJ ha consistido en remover el agua y los humedales para desarrollar el suelo que se encuentra debajo, diseñar y controlar las riberas, y rellenar y urbanizar la línea costera modificada. Este enfoque de manejo ha creado profundas hondonadas de dragado, nuevos entornos y ha limitado la capacidad del sistema para amortiguar los flujos de agua y los contaminantes y recursos que transporta. La laguna San José se encuentra hidrológicamente restringida en el intercambio de sus aguas por el limitado flujo intermareal al este (Caño Martín Peña) y oeste (Canal Suárez). Su hidrología es dominada en mayor grado por eventos extremos de precipitación y tormentas, los cuales pueden revertir y dominar la dirección del flujo natural producto de las mareas. Debido a esto, este sistema crea eventos de inundación, limita la capacidad de intercambio de las aguas, contribuye al desbalance de nutrientes (eutroficación) y cambios en la flora y fauna más allá de los límites del estuario.

La bahía de San Juan tiene una desembocadura en el océano Atlántico y una segunda entrada en el extremo noroeste de la Laguna del Condado, lo que provoca una restricción limitada del caudal (Bunch et al., 2000). La gran superficie y el extenso dragado de navegación en el EBSJ la han convertido en el centro del comercio marítimo de Puerto Rico desde el siglo XVI. El dragado de navegación de la bahía de San Juan se extiende hacia el este hasta el Caño Martín Peña.

El Caño Martín Peña conecta la bahía de San Juan con la laguna San José. Este sistema fue una vez un canal estuarino ancho y sinuoso con humedales que llegaban muy al norte y al sur del canal. En el extremo oriental del Caño Martín Peña, el flujo serpenteante natural del canal permanece, pero la llanura de inundación de casi media milla de ancho y los humedales asociados se han reducido a un estrecho amortiguador (cuando existe) entre los antiguos manglares cubiertos de relleno y urbanizados y el canal. Muchas de las zonas están llenas de residuos, lo que dificulta aún más la restauración. El canal está atascado de basura y escombros, lo que limita el intercambio de mareas entre la bahía de San Juan y la laguna San José. Las zonas bajas se inundan con frecuencia como consecuencia del antiguo sistema de alcantarillado pluvial, que incluye flujos de alcantarillado combinados, descargas de la quebrada Juan Méndez y mareas de tormenta que fluyen por el canal Suárez y la laguna San José. Esta frecuente

- 1588 inundación de aguas contaminadas tiene efectos directos sobre la salud humana en las zonas bajas (USACE,
1589 2016).
- 1590 Al oeste, el flujo ondulante del canal natural ha sido reemplazado por un canal antinatural de líneas rectas.
1591 Aunque esta zona ha sido alterada también por áreas cubiertas de relleno y urbanizadas, los manglares se
1592 han restablecido a ambos lados del canal. En 2003, la zona fue designada Reserva Natural para protegerla
1593 de un mayor desarrollo. Al este, el flujo natural del canal puede permanecer, pero el desarrollo y la
1594 contaminación de basura, aguas pluviales y desperdicios sanitarios han creado grandes daños en el
1595 sistema. Debido a la degradación de estos recursos naturales, está en marcha el proyecto de Restauración
1596 del Ecosistema del Caño Martín Peña, que se describe con más detalle en esta sección.
- 1597 La laguna San José ha experimentado también el endurecimiento de las líneas costeras y el desarrollo
1598 invasivo, pero lo más significativo para la hidrología es el dragado, cuyas hondonadas por dragado tienen
1599 en promedio una profundidad de aproximadamente seis pies hasta 32 pies en la sección oriental. El
1600 volumen de la laguna San José incrementó en más de un 30 %, lo que también aumentó el tiempo necesario
1601 para intercambiar el volumen de agua en este cuerpo de agua ya aislado y restringido. Las profundas
1602 depresiones formadas por el dragado resultan en áreas de agua salada más densa proveniente del océano
1603 que corre profundamente por debajo del agua dulce que entra por el Caño Martín Peña, eliminando la
1604 mezcla de agua dulce y salada que define un estuario y resulta en el equilibrio único entre los ambientes
1605 dulce y marino (USACE, 2016).
- 1606 La laguna San José se divide en dos secciones denominadas laguna Los Corozos al noroeste y la laguna San
1607 José, al sureste. No hay conexión directa entre esta laguna y el océano. Las aguas oceánicas tienen acceso a
1608 la laguna San José a través del Caño Martín Peña, que la conecta con la bahía de San Juan, y el canal Suárez,
1609 que conecta con la laguna La Torrecilla. El canal Suárez es una conexión artificial de la laguna San José con la
1610 laguna La Torrecilla creada mediante el dragado del canal en los años 1920 y 1930. El canal Suárez se
1611 estrecha en su tramo medio, donde el puente de la autopista Román Baldorioty de Castro cruza el canal. La
1612 laguna La Torrecilla conecta con el océano a través del estrecho canal de la desembocadura de Boca de
1613 Cangrejos. Las aguas pluviales discurren a través de los arroyos que drenan las zonas urbanas circundantes,
1614 como las quebradas Juan Méndez y San Antón. Los canales pavimentados y sin pavimentar drenan también
1615 las zonas urbanas, incluido el Aeropuerto Internacional Luis Muñoz Marín. Además, la laguna San José
1616 recibe desbordamientos de alcantarillado combinado y aguas pluviales de estaciones de bombeo (USACE,
1617 2016).
- 1618 El desarrollo en y alrededor del EBSJ ha alterado significativamente el equilibrio natural del sistema. Los
1619 humedales de manglares y las llanuras aluviales están ahora canalizados y urbanizados, lo que limita el
1620 espacio que pueden ocupar las aguas de crecida y aumenta la descarga de nutrientes y sedimentos. Los
1621 arroyos limpios de agua dulce que entran en el estuario están ahora contaminados con basura, residuos
1622 sanitarios y sedimentos. Los canales poco profundos pero abiertos que conectaban las aguas del EBSJ han
1623 sido sustituidos por tramos canalizados de profundidades variadas, lo que limita el intercambio mareal y
1624 aísla verticalmente las aguas dulces y saladas.
- 1625 Partiendo de la comprensión de los retos hidrológicos a los que se enfrenta el EBSJ, es crucial examinar los
1626 esfuerzos de restauración en curso y previstos para atender estos problemas. Se han iniciado o propuesto
1627 varios proyectos para restaurar los caudales naturales, mejorar la calidad del agua y potenciar la salud
1628 ecológica y comunitaria en todo el sistema del estuario.

El proyecto de Restauración del Ecosistema Caño Martín Peña (CMP-ERP, por sus siglas en inglés) es el primer gran proyecto de restauración diseñado para mejorar a gran escala las condiciones medioambientales del EBSJ. Según el resumen de la Declaración de Impacto Ambiental:

"El propósito del CMP-ERP es restablecer la conexión mareal entre la Laguna San José y la Bahía de San Juan, y por ende, las secciones este y oeste del Estuario de la Bahía de San Juan. El CMP-ERP consiste en el dragado de aproximadamente 2.2 millas de la mitad oriental del CMP, comenzando desde la Laguna de San José hacia el oeste, en las proximidades del Puente de la Avenida Luis Muñoz Rivera. El CMP-ERP mejoraría los niveles de oxígeno disuelto y la estratificación por salinidad, aumentaría la biodiversidad restaurando o mejorando, entre otros, el hábitat de los peces y las condiciones bentónicas, y la salud general del sistema estuarino de la Bahía de San Juan. El CMP-ERP es fundamental también para la revitalización de ocho comunidades empobrecidas asentadas a lo largo del canal mareal Martín Peña, y la restauración de este sistema mejorará significativamente la salud humana y la seguridad en la zona. También se restablecerá la navegación recreativa en la zona, lo que permitirá un mayor uso público y comercial de todo el estuario. Se eligió un canal de 100 pies de ancho por 10 pies de profundidad como plan recomendado para la ejecución del CMP-ERP. Demostró ser la alternativa que mejor cumple los objetivos del estudio, es la más aceptable, rentable y mejor inversión. Además de las contribuciones a la restauración del ecosistema, la implementación del Plan Recomendado contribuiría a mejorar las condiciones socioeconómicas de las comunidades adyacentes". (USACE, 2016)

Los últimos proyectos de dragado y el proyecto de Restauración Ambiental Caño Martín Peña han proporcionado muchos conjuntos de datos batimétricos; sin embargo, es necesario actualizar y compilar un conjunto de datos batimétricos completo de los cuerpos de agua en el sistema del EBSJ. Estos datos informarán los estudios hidrológicos y de balance de masa necesarios para comprender plenamente las restricciones al flujo, los tiempos de residencia y los patrones de circulación en el EBSJ.

En 2021, el USACE publicó un estudio de manejo de riesgos de tormentas costeras para el área metropolitana de San Juan y las zonas de la bahía trasera. La bahía trasera se refiere a las zonas interiores, estuarinas bajas y propensas a inundaciones situadas detrás de la costa principal de la bahía de San Juan, que son particularmente vulnerables a las marejadas ciclónicas y las inundaciones. El plan se centra en los riesgos de inundaciones costeras provocadas por tormentas, olas, mareas y cambios del nivel del mar, y recomienda varias medidas estructurales y naturales. El plan recomendado por el USACE incluye diques (1.5 millas), una serie de rompeolas a lo largo de 0.7 millas de la costa de Cataño, malecones/diques de contención (6.5 millas), una línea de costa viva elevada (0.7 millas), una estructura de descarga en el Canal de la Malaria y elementos hidrológicos interiores asociados (bombas y alcantarillas) para permitir el drenaje continuo de la escorrentía de las precipitaciones (2021). Este proyecto integral de la bahía trasera tiene como objetivo reducir las inundaciones costeras y mejorar la capacidad de recuperación de las comunidades vulnerables en las zonas interiores propensas a las inundaciones de la región metropolitana de San Juan, mediante la combinación de infraestructuras de ingeniería con la restauración del hábitat natural.

Objetivos

- Aumentar la circulación y el intercambio de agua en el Caño Martín Peña, entre la ensenada de la península La Esperanza y la bahía de San Juan, y a través de la Isla de Cabras, para mejorar la capacidad de drenaje del sistema estuarino.

Acciones

NUEVA-1 Realizar una evaluación hidrológica exhaustiva del sistema para priorizar los esfuerzos de restauración del intercambio de agua.

Referencias

El sistema del EBSJ ha sufrido importantes modificaciones antropogénicas, como dragados, rellenos y sedimentación. El análisis de la tasa de sedimentación realizado por Moffatt & Nichol Engineers en 2003 estimó una tasa de relleno de 1.53 pulgadas por año para la laguna San José, debido a las aguas de baja energía y los pozos dragados. Mientras que las tasas en otras lagunas del sistema del EBSJ oscilan entre 0.09 pulgadas por año y 0.24 pulgadas por año. Dentro de la desembocadura del Caño Martín Peña en la laguna San José, la tasa de sedimentación se estimó en 6.7 pies por año, lo cual se debe a las descargas de sedimentos de la quebrada Juan Méndez (USACE, 2016). Con el dragado para la navegación y para aumentar la descarga y el relleno de algunas de las fosas del dragado propuesto y en curso, hay muchos estudios batimétricos disponibles de varios proyectos en todo el EBSJ. Estas alteraciones han afectado a la hidrología natural y la calidad del agua del estuario, provocando la necesidad de una evaluación hidrológica integral para priorizar los esfuerzos de restauración destinados a mejorar el intercambio de agua y la salud ecológica.

La modelización hidrodinámica y de la calidad del agua ha demostrado ser esencial para comprender los patrones de circulación del estuario, el transporte de contaminantes y las características de limpieza por flujo. Un estudio fundamental del Centro de Investigación y Desarrollo del USACE utilizó el modelo hidrodinámico CH3D-WES junto con el modelo de calidad del agua, CE-QUAL-ICM, para simular la respuesta del sistema del EBSJ a diversas alternativas de manejo. Estos modelos se calibraron y validaron con los datos de campo recogidos, creando un marco confiable para evaluar las estrategias de restauración (Bunch et al., 2000).

El estudio subrayó el papel fundamental de los estudios batimétricos recientes para actualizar las entradas del modelo, reflejando los cambios morfológicos en curso producidos por el dragado, el relleno y la sedimentación dentro del estuario. Los datos batimétricos actualizados eran necesarios para caracterizar con exactitud el entorno físico del estuario y garantizar la precisión de las simulaciones hidrodinámicas.

Las principales conclusiones de la investigación demostraron que las mejoras más eficaces de la calidad del agua se obtuvieron mediante la combinación de la ampliación y profundización del canal del Caño Martín Peña, el relleno de las depresiones sumergidas y la eliminación de las cargas contaminantes no drenadas dentro del Caño Martín Peña. Estas acciones de manejo integradas mejoraron significativamente la descarga y redujeron las concentraciones de contaminantes en el estuario, poniendo de relieve el valor de las intervenciones selectivas en componentes críticos del sistema (Bunch et al., 2000).

Los modelos desarrollados en este estudio constituyen valiosas herramientas de apoyo a la toma de decisiones para orientar el manejo y el seguimiento futuros del EBSJ. Al permitir la simulación de varios

1707 escenarios de restauración, estos modelos facilitan la priorización de los esfuerzos de restauración del
1708 intercambio de agua, ayudando a los gestores de recursos a centrarse en intervenciones que maximicen los
1709 beneficios ecológicos.

1710 La realización de una evaluación hidrológica exhaustiva que aproveche estos marcos de modelización
1711 avanzados y los datos de campo actualizados es, por tanto, esencial para restaurar y mantener eficazmente
1712 la salud del sistema del EBSJ.

1713 **Actividades**

Actividad	Métricas de cumplimiento	Metas	Parte(s) interesada(s) y socio(s) responsable(s)	Estatus	Periodo de tiempo	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Recopilar estudios batimétricos y dinámicas de flujo recientes para identificar lagunas y necesidades de datos.	Obtener un mapa batimétrico de todas las zonas del EBSJ.	Se obtendrá un mapa batimétrico completo del EBSJ.	Líder: USACE Socios ejecutivos: Servicio Geológico de EE. UU. (USGS), Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA), Proyecto ENLACE, DRNA.	En curso	2 años	A determinarse	WRDA, NOAA
2. Identificar las restricciones a los flujos de mareas y corrientes superficiales.	Modelos completados para identificar las restricciones a los flujos.	Restricciones identificadas.	Líder: USACE Socios ejecutivos: USGS, NOAA, Proyecto ENLACE, DRNA	Pendiente	5+ años	A determinarse	WRDA, NOAA
3. Cuantificar/modelar la dinámica del tiempo de residencia del agua.	Modelos completados para identificar los tiempos de residencia en cada sección del EBSJ.	Tiempos de residencia identificados para cada sección de la laguna.	Líder: USACE Socios ejecutivos: USGS, NOAA, Proyecto ENLACE, DRNA	Pendiente	5+ años	A determinarse	WRDA, NOAA
4. Modelo de dinámica de circulación.	Modelos completados para identificar patrones de circulación en y entre cada sección del EBSJ.	Patrones de circulación identificados	Líder: USACE Socios ejecutivos: USGS, NOAA, Proyecto ENLACE, DRNA	Pendiente	5+ años	A determinarse	WRDA, NOAA
5. Publicar un informe exhaustivo de las condiciones hidrológicas que incluya retos y oportunidades.	Recopilación de datos batimétricos; modelos; y resumen de lagunas de datos, restricciones de caudal, tiempos de residencia de cada sección del EBSJ, patrones de circulación, retos y oportunidades.	Publicación del informe.	Líder: Estuario Socios ejecutivos: USGS, NOAA, Proyecto ENLACE, DRNA	Pendiente	5+ años	A determinarse	WRDA, NOAA

1714 **Requisitos reglamentarios y de política pública**

1715 Ninguno.

1716 **WS-05 Mejorar el flujo en el Caño Martín Peña.**

1717 **Referencias**

1718 El desarrollo en los humedales del Caño Martín Peña comenzó en la década de 1920 y se aceleró aún más
1719 en 1927, cuando la legislatura de Puerto Rico autorizó la venta de tierras de manglar para detener la
1720 propagación de los mosquitos de la malaria. Aunque este ambiente no albergaba los mosquitos de la
1721 malaria, las áreas fueron drenadas y rellenadas, estableciendo una práctica que permitió el extenso proceso
1722 de relleno que tuvo lugar en los manglares y las aguas abiertas del Caño Martín Peña durante las décadas
1723 siguientes. El desarrollo a lo largo del Caño Martín Peña rellenó los humedales de manglar y ha resultado en
1724 la descarga de sedimentos, aguas usadas y otros desechos al canal. La restauración del Caño Martín Peña
1725 occidental ha estado en marcha desde la década de 1950, pero la restauración en el Caño Martín Peña
1726 oriental apenas está comenzando (USACE, 2016;Figura4

1727 Durante la década de 1950, el Municipio de San Juan recibió fondos federales para implementar políticas de
1728 renovación urbana a lo largo de la orilla norte del Caño Martín Peña. Estas políticas resultaron en el desalojo
1729 y desplazamiento de miles de residentes que vivían en barrios establecidos sobre los manglares,
1730 empujándolos a proyectos de vivienda pública. El desplazamiento de familias continuó hasta principios de la
1731 década de 1980 con el uso del dominio eminente en la comunidad de Tokio de Hato Rey (USACE, 2016).

1732 En 1983, se diseñó el Proyecto Agua-Guagua, que incluía el dragado del área desde la bahía de San Juan
1733 hasta el distrito financiero de Hato Rey, y cuya construcción se completó entre 1984 y 1988 a un costo de 20
1734 millones de dólares. El proyecto dio como resultado un canal lineal de 200 pies de ancho y 10 pies de
1735 profundidad. El proyecto produjo un canal que se endureció con la colocación de 13,000 pies lineales de
1736 mamparo, y se restauraron los manglares al norte y al sur del canal. La mayor parte de la zona
1737 anteriormente ocupada por las comunidades desplazadas a lo largo del Caño Martín Peña occidental se
1738 reurbanizó finalmente con parques, instalaciones gubernamentales, un complejo deportivo y el Parque
1739 Lineal Enrique Martí Coll, construido sobre el humedal (USACE, 2016).



Figure 1-5. Historic and recent conditions of the CMP

Figura4 . Condiciones históricas y recientes en el Caño Martín Peña (de USACE, 2016).

La restauración del este del Caño Martín Peña ha sido más lenta en desarrollarse. Los contratos del USACE comenzaron en 2023 y su finalización está prevista para 2031. El USACE adjudicó el Contrato 1 del proyecto Caño Martín Peña en junio de 2023, y la eliminación de la vegetación y de 15,000 toneladas de residuos sólidos de aproximadamente 36 acres se completó en octubre de 2023 con un coste de 2.9 millones de dólares. El contrato 2 se adjudicó en septiembre de 2024 e incluía la excavación de 25,000 yardas cúbicas de material del extremo occidental del canal. El proyecto incluye la construcción de un canal de 115 pies de ancho en los puentes occidentales, la instalación de protección con rocas en el fondo del canal y en los taludes laterales, y la instalación de muros de tablestacas en el extremo oriental. Este contrato se adjudicó por 14.7 millones de dólares y su finalización está prevista para octubre de 2026. El contrato 3 se adjudicará en tres fases, con adjudicaciones previstas en septiembre de 2025 y enero de 2028, respectivamente. El alcance de las obras de este contrato incluirá el dragado de 1.8 millas de canal, el dragado de 2 millas de canal de acceso, la estabilización de las orillas, la protección contra la socavación del puente Barbosa, la restauración de 35 acres de manglares/humedales a lo largo de todo el canal y la construcción de instalaciones recreativas. Se proponen fosas para el depósito de material dragado en las antiguas depresiones sumergidas en la laguna San José. La construcción del Contrato 3 se estima entre 100 y 250 millones de dólares (USACE, 2024).

1758 Actividades

Actividad	Métricas de cumplimiento	Metas	Parte(s) interesada(s) y socio(s) responsable(s)	Estatus	Periodo de tiempo	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Protección de los puentes occidentales contra la socavación en el Caño Martín Peña, Tren Urbano y la avenida Luis Muñoz Rivera (Contrato 2 de Restauración del Caño Martín Peña del USACE).	Protección del puente contra la socavación mediante el dragado del extremo oeste del canal Caño Martín Peña y la instalación de tablestacas y escolleras (<i>rip rap</i>) para asegurar los taludes.	Excavación de ~ 25,000 yardas cúbicas de material del extremo oeste del canal. Construcción de un canal de 115 pies de ancho por 6.5 pies de profundidad situado en los puentes occidentales. Instalación de <i>rip rap</i> en el fondo del canal y en los taludes laterales. Se instalarán muros de tablestacas de acero en el extremo oriental.	Líderes: USACE, Proyecto ENLACE Socio ejecutivo: DRNA	En curso	0-2 años	\$14.7M	WRDA
2. Excavación y estabilización del canal (USACE <i>Caño Martín Peña Restoration Contract 3</i>)	Eliminar las restricciones de caudal en el Caño Martín Peña, estabilizar las orillas, restaurar los manglares y humedales, y proporcionar instalaciones recreativas .	Dragado de 1.8 millas de canal. Dragado de 2 millas del canal de acceso desde la zona de parada hasta el extremo oriental del Caño Martín Peña. Estabilización de las orillas con tablestacas. Protección contra la socavación del puente Barbosa. ~ 35 acres Restauración de manglares/humedales en todo el canal. Actividades recreativas.	Líderes: USACE, Proyecto ENLACE Socio ejecutivo: DRNA	Pendiente	5+ años	\$100M	WRDA

Requisitos reglamentarios y de política pública

El Congreso autorizó los proyectos en 2007 a través de la sección 5127 de la WRDA. La aprobación del estudio de viabilidad del proyecto en 2018 ha permitido al USACE y al Proyecto ENLACE trabajar en la fase de preconstrucción, ingeniería, diseño y primeras fases de construcción. El proyecto necesitará el apoyo continuo del Congreso de los Estados Unidos para garantizar el financiamiento de las fases finales.

WS-06 Rellenar las depresiones artificiales en el canal Suárez y en las lagunas Los Corozos, San José y La Torrecilla.

Referencias

El primer cambio significativo en la hidrología del EBSJ fue la excavación del canal Suárez en las décadas de 1820 y 1830, para conectar la laguna San José y la laguna La Torrecilla. El canal Suárez fue profundizado y ensanchado en la década de 1960, incrementando el intercambio de mareas en la laguna San José; sin embargo, este incremento en el intercambio fue contrarrestado por las profundas depresiones sumergidas en el extremo este de la laguna San José y en el canal Suárez. La profundidad natural de la laguna San José era en promedio de 6 pies, con una profundidad máxima de menos de 9 pies. Se dragaron varias fosas de hasta 32 pies de profundidad para extraer materiales para la construcción y el relleno de humedales. Las depresiones sumergidas en Los Corozos tienen aproximadamente 17 pies de profundidad. El dragado resultó en un aumento del 30 % del volumen de la laguna (USACE, 2016). Las tasas de intercambio de agua se evalúan con base en el número de días para intercambiar todo el volumen de agua dentro de un cuerpo de agua, y este aumento de volumen puso un estrés aún mayor a las tasas de intercambio de la laguna ya aislada. El dragado en la laguna La Torrecilla se completó a profundidades mayores de 50 pies, con dragado en la vecindad de la angosta salida de Boca de Cangrejos que incrementó el intercambio de marea con la laguna (USGS, 1976). Además, las depresiones formadas por el dragado dan lugar a zonas de agua salada oceánica más densa que discurre a gran profundidad por debajo del agua dulce, eliminando la mezcla de agua dulce y salada que define un estuario y da lugar al equilibrio único entre los medios dulce y marino.

[Mapa de estas zonas]



Figura5 . Pozos artificiales en la laguna San José (USACE, 2016)

El USACE evaluó las fuentes de arena para tapar las fosas de dragado. Se identificaron importantes fuentes de arena en la parte norte de las lagunas San José y Los Corozos; sin embargo, existe la preocupación de que las nuevas depresiones afecten negativamente al hábitat. El dragado del puerto deportivo en la laguna La Torrecilla puede ser viable, pero habría que evaluarlo más a fondo. Se evaluó la posibilidad de comprar arena comercialmente, pero requiere un transporte de aproximadamente 35 millas, la compra del material y una infraestructura en el agua para depositarlo. También se evaluó el vidrio reciclado a partículas del tamaño de la arena, pero aunque es técnicamente factible, los problemas con posibles contaminantes y la falta de un proyecto prototipo similar hacen que esta opción sea menos deseable (USACE, 2016).

El Caño Martín Peña se dragará a una anchura de 100 pies hasta una profundidad de 10 pies. Los desperdicios sólidos se depositarán en un vertedero. Los desechos restantes del dragado del Caño Martín Peña se utilizarán para rellenar las cuatro principales depresiones sumergidas en el extremo oriental de la laguna San José, cerca de la abertura occidental del canal Suárez. Este proyecto se completará bajo el Contrato 3 del proyecto de Mejoramiento General del Caño Martín Peña, cuya adjudicación está prevista para septiembre de 2025 (USACE, 2024). La tasa de relleno estimada dentro de la desembocadura del Caño Martín Peña en la laguna San José es de 6.7 pies/año, siendo el principal contribuyente de sedimentos la quebrada Juan Méndez. La tasa de sedimentación para todo el Caño Martín Peña se estimó en 1.5 pulgadas por año (USACE, 2016).

El estudio del USACE eliminó del proyecto el relleno de las otras depresiones sumergidas. Los Corozos no se utilizará para la eliminación de material de dragado, debido a la capacidad insuficiente, y la interferencia potencial con los muelles adyacentes, la navegación y las actividades de la costa. El canal Suárez se eliminó también como lugar de vertido, debido a su insuficiente capacidad y al requisito de contención para aislar el material de la corriente y de la acción del oleaje. Las depresiones sumergidas de la laguna La Torrecilla no se evaluaron (USACE, 2016).

Actividades

Actividad	Métricas de cumplimiento	Metas	Parte(s) interesada(s) y socio(s) responsable(s)	Estatus	Periodo de tiempo	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Rellenar las depresiones de dragado en el canal Suárez.	Restaurar o acercarse a una profundidad histórica más consistente para mejorar el lavado y la mezcla de aguas marinas y dulces.	Alcanzar una profundidad máxima del canal de 14 pies.	Líder: USACE Socio ejecutivo: DRNA	Retrasado	A determinarse	2.25 millones de dólares (2016 CCMP)	WRDA
2. Rellenar depresiones de dragado en la laguna Los Corozos.	Restaurar o acercarse a una profundidad natural histórica más consistente para mejorar la descarga y mezcla de aguas marinas y dulces.	Alcanzar una profundidad máxima de la laguna de 6 pies.	Líder: USACE Socio ejecutivo: DRNA	Retrasado	A determinarse	3.3 millones de dólares	WRDA

Actividad	Métricas de cumplimiento	Metas	Parte(s) interesada(s) y socio(s) responsable(s)	Estatus	Periodo de tiempo	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
3. Rellenar las depresiones de dragado en la laguna San José.	Restaurar o acercarse a una profundidad natural histórica más consistente para mejorar la descarga y mezcla de aguas marinas y dulces.	Alcanzar una profundidad máxima de 16 pies.	Líderes: USACE, Proyecto ENLACE Socio ejecutivo: DRNA	Pendiente	5+ años	100 millones de dólares	WRDA
4. Rellenar las depresiones de dragado en la laguna La Torrecilla.	Restaurar o acercarse a una profundidad natural histórica más consistente para mejorar el lavado y la mezcla de aguas marinas y dulces.	Alcanzar una profundidad máxima de 14 pies fuera de los canales de navegación.	Líder: USACE Socio ejecutivo: DRNA	Retrasado	A determinarse	A determinarse	WRDA

Requisitos reglamentarios y de política pública

El Congreso autorizó el proyecto en 2007 a través de la sección 5127 de la WRDA. La aprobación del estudio de viabilidad del proyecto en 2018 ha permitido a USACE y a la Corporación del Proyecto ENLACE para el Caño Martín Peña trabajar en la preconstrucción, ingeniería, diseño y fases iniciales de construcción. El proyecto necesitará el apoyo continuo del Congreso de los Estados Unidos para garantizar el financiamiento de las fases finales. Se requerirá financiamiento adicional para evaluar, realizar la ingeniería y completar la presentación de las depresiones sumergidas en la construcción del canal Suárez, la laguna Los Corozos y la laguna La Torrecilla.

WS-07 Mejorar el flujo de agua entre la ensenada de Península La Esperanza y la bahía de San Juan

Referencias

La península La Esperanza fue creada en la década de 1960 por la colocación de escombros de dragado de los canales de navegación de la bahía de San Juan para crear dos islas mar adentro y una laguna artificial detrás de la península. El considerable relleno de la zona continuó hasta crear una península con una única abertura en el lado sur de la cala, lo que redujo el intercambio entre la cala y la bahía de San Juan. En 2005, el USACE dragó la península La Esperanza para restaurar la calidad del agua de la ensenada y el hábitat de la fauna salvaje en la península. Los bancos de sedimento en la península siguen siendo problemáticos y, en 2015, el USACE propuso dragar la península de nuevo. El proyecto incluía el dragado de 50,000 yardas cúbicas de material de las zonas de sedimentos para rellenar depresiones artificiales en la Laguna del Condado. Los documentos de contratación del proyecto estimaban que la construcción costaría entre 1 y 5 millones de dólares; sin embargo, la contratación del proyecto nunca se completó debido a que las ofertas de contrato superaban los umbrales de adjudicación (USACE, 2021).

1830 **Actividades**

Actividad	Métricas de cumplimiento	Metas	Parte(s) interesada(s) y socio(s) responsable(s)	Estatus	Periodo de tiempo	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Continuar el dragado para eliminar los bancos de arena y mejorar la descarga en la ensenada.	Mejora de la descarga y del intercambio de mareas entre la ensenada de la península La Esperanza y la bahía de San Juan.	Aumento del número, anchura y/o profundidad de las aberturas.	Líder: USACE Socio ejecutivo: DRNA	Paralizado	5+ años	10 millones de dólares	WRDA

1831 **Requisitos reglamentarios y de política pública**

1832 El Congreso de los Estados Unidos autorizó previamente el proyecto de dragado bajo la autorización WRDA
1833 1986. Se solicitaron ofertas para el proyecto en 2015. Será necesario volver a evaluar la ingeniería, el diseño
1834 y los permisos. El proyecto necesitará el apoyo continuo del Congreso de EE. UU. para garantizar el
1835 financiamiento del proyecto.

1836 **WS-08** *Evaluar la viabilidad de restaurar el flujo de agua a través de la carretera conducente a Isla de Cabras.*

1837 **Referencias**

1838 (Esta información de fondo está desactualizada ya que proviene directamente del CCMP del 2000. Se
1839 necesita el aporte del USACE como agencia líder).

1840 La zona conocida hoy como Isla de Cabras constaba originalmente de dos islas unidas por un arrecife cuya
1841 profundidad no superaba los 1.5 metros (5 pies) (Departamento de Comercio de EE. UU., 1976). Estas dos
1842 islas, denominadas Islote de Cañuelo e Isla de Cabras, estaban situadas casi paralelamente al canal de
1843 entrada en el lado occidental de la parte exterior de la bahía de San Juan. El Islote del Cañuelo,
1844 presumiblemente un afloramiento rocoso, estaba situado al sur de la Isla de Cabras. Además del canal
1845 principal de entrada a la bahía, existía un segundo canal entre el Islote del Cañuelo y el cabo de Palo Seco.
1846 Este canal, denominado El Cañuelo, era más estrecho y menos profundo que el canal de entrada a la bahía
1847 de San Juan (Seguinot-Barbosa, 1983).

1848 Aunque las modificaciones del Islote del Cañuelo comenzaron poco antes de 1595, las alteraciones
1849 permanentes empezaron en 1662 con la construcción del Fuerte de San Juan de la Cruz. Al construir el
1850 fuerte, una pequeña sección del islote se rellenó con rocas para reforzar su base (Ramos-Vélez, 1995). Otros
1851 cambios en la zona fueron el dragado del Canal del Cañuelo durante la década de 1890 y la construcción de
1852 un puente antes de 1939, que conectaba el Palo Seco con el Islote de Cañuelo y la Isla de Cabras (Ramos-
1853 Vélez, 1995; Seguinot-Barbosa, 1983).

1854 Durante la década de 1940, la zona de arrecifes poco profundos entre la Isla de Cabras y el Islote del
1855 Cañuelo fue rellenada para la construcción de instalaciones militares. El material de relleno transformó las
1856 dos islas en una sola. Se construyó una calzada con escombros y otros materiales para conectar esta zona
1857 con el continente (Seguinot-Barbosa, 1983). Esta acción redujo casi a la mitad la anchura de la
1858 desembocadura de la bahía de San Juan y disminuyó significativamente el intercambio de agua entre la
1859 bahía y el océano.

1860

Actividades

Actividad	Métricas de cumplimiento	Metas	Parte(s) interesada(s) y socio(s) responsable(s)	Estatus	Periodo de tiempo	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Evaluar la necesidad de aumentar el flujo de agua entre la bahía de San Juan y la ensenada Boca Vieja.	Llevar a cabo una evaluación de las necesidades para determinar dónde es necesario restablecer los niveles de flujo y su estado de prioridad.	Evaluación de necesidades finalizada.	Líder: DRNA Socios ejecutivos: USACE, Estuario	Pendiente	2-5 años	A determinar se	DRNA, USEPA
2. Seleccionar la ubicación y el tamaño de la nueva abertura para aumentar el caudal.	Evaluar opciones para nuevas aperturas en el área, para aumentar el flujo.	Se finalizará la ubicación de la nueva abertura para aumentar el caudal.	Líder: DRNA Socios ejecutivos: USACE, Autoridad de los Puertos (Puertos), USFWS, NFMS, Municipio de Toa Baja, Estuario	Pendiente	2-5 años	A determinar se	DRNA, USEPA
3. Comenzar la construcción una vez concedidos los permisos necesarios.	Desarrollar el plan de construcción y solicitar los permisos necesarios.	Finalización de los permisos e implantación del plan de construcción.	Líder: DRNA Socios ejecutivos: USACE, Junta de Planificación, Puertos, DTOP	Pendiente	5+ años	A determinar se	DRNA, USEPA, Fondo Rotatorio Estatal

1861

Requisitos reglamentarios y de política pública

1862

Deberá obtenerse un permiso de la Ley de Agua Limpia, sección 404, y las correspondientes certificaciones de zona costanera y calidad del agua.

1863

1864

Referencias

1865

Bunch, B. W., C.F. Cerco, M. S. Dortch, B. H. Johnson y K. W. Kim. 2000. Hydrodynamic and water quality model study of San Juan Bay estuary. ERDC TR-00-1. U.S. Army Engineering Research and Development Center. Vicksburg, MS.

1866

1867

1868

Ramos-Vélez, M., 1995. Investigación Arqueológica Fase IA Desarrollo Urbano de la Zona Costanera de Cataño, Cataño, Puerto Rico. *En* Declaración de Impacto Ambiental Preliminar, Tomo 2, Apéndice G. Preparado para el Municipio de Cataño, Puerto Rico.

1869

1870

1871

Seguinot-Barbosa, J., 1983. Modificación Costera y Transformación del Suelo en el Área de la Bahía de San Juan: Puerto Rico.

1872

1873

USACE. 2015. Memorando para el Comandante de la División del Atlántico Sur: Aprobación del Plan de Revisión para el Proyecto de Mitigación del Puerto de San Juan, San Juan Puerto Rico. Febrero de 2015.

1874

-
- 1875 USACE. 2016. Informe final de viabilidad: Proyecto de Restauración del Ecosistema Caño Martín Peña.
1876 Febrero de 2016.
- 1877 USACE. 2021. Borrador de Evaluación Ambiental Suplementaria: Puerto de San Juan, Puerto Rico Mitigación
1878 de pastos marinos, fuente de arena adicional. Octubre de 2021.
- 1879 USACE. 2021. Estudio de Manejo de Riesgo de Tormentas Costeras del Área Metropolitana de San Juan.
1880 Informe Final Integrado de Viabilidad y Evaluación Ambiental. Área Metro de San Juan, Puerto Rico. Agosto
1881 2021. <https://usace.contentdm.oclc.org/utis/getfile/collection/p16021coll7/id/19168>.
- 1882 USACE. 2024. Distrito del Caribe: Misión, Visión y Oportunidades de Contrato. Septiembre de 2024.
- 1883 Departamento de Comercio de EE. UU., 1976. Mapa del Puerto de San Juan, Puerto Rico, Coast and Geodetic
1884 Survey, National Ocean Survey. Administración Nacional Oceánica y Atmosférica, Washington D.C., marzo de
1885 1912.
- 1886 USGS. 1976. Historia del Dragado y Relleno de Lagunas en el Área de San Juan, Puerto Rico. Septiembre de
1887 1976.

Infraestructura portuaria y de embarcaciones

Base científica

El EBSJ es un componente vital del paisaje marítimo de Puerto Rico, que equilibra importantes beneficios económicos con complejos retos medioambientales y de seguridad. Con una creciente red de puertos y marinas, el sistema del EBSJ sirve como un centro fundamental para el transporte marítimo, que es vital tanto para la actividad comercial como para el turismo. Los puertos del EBSJ suelen ser instalaciones más grandes diseñadas para acoger buques comerciales, incluidos cargueros y cruceros. La bahía de San Juan, por ejemplo, destaca por ser la decimoséptima instalación portuaria más grande del mundo y el segundo puerto de contenedores más activo de la costa este de Estados Unidos (Estuario, 2000). Estas instalaciones y el uso de la bahía de San Juan como puerto seguro se remontan al asentamiento español original y han desempeñado un papel fundamental en el comercio y el turismo, ya que el puerto de San Juan gestiona una parte importante del tráfico de mercancías y cruceros de la isla.

En 2019, más de 30 millones de pasajeros de cruceros visitaron el Caribe, siendo Puerto Rico un destino clave. El crecimiento del turismo de cruceros, que había sido de casi el 10 % anual antes de la pandemia de COVID-19, refleja la alta demanda de viajes marítimos y el papel vital del EBSJ en el apoyo a esta industria (Runde y Sandin, 2021). Para mantener el crecimiento de la industria, así como el de los buques modernos, en 2024 se completó el dragado de la bahía de San Juan para profundizar y ampliar el canal de navegación. El proyecto incluyó la retirada de 3 millones de yardas cúbicas de material para hacer espacio para buques más grandes.

La seguridad pública y la protección del medioambiente desempeñan papeles esenciales en el desarrollo y funcionamiento de las instalaciones portuarias. La Ley 125-1942, según enmendada, estableció la Autoridad Portuaria de Puerto Rico en 1942 y ordenó la creación de la Oficina General de Seguridad para la Autoridad Portuaria de Puerto Rico en la enmienda presentada en la Ley en 2024. La Oficina General de Seguridad debe cumplir también con la Ley de Seguridad del Transporte Marítimo. Esta ley fue una respuesta a los ataques terroristas del 11 de septiembre de 2001, y ordenó al Departamento Federal de Transportación desarrollar medidas de seguridad para proteger los puertos y buques nacionales. La ley se centraba especialmente en las amenazas a la seguridad, los buques de carga y las mercancías peligrosas, pero también abordaba la seguridad en el lugar de trabajo y los problemas medioambientales. El DRNA, a través de la Oficina del Comisionado de Navegación, trata de minimizar el impacto medioambiental de las embarcaciones de recreo. Los cuatro componentes de esta oficina son el registro de embarcaciones, la educación marítima, la seguridad marítima y las leyes y reglamentos.

De conformidad con el 33 CFR 151.10, cuando un buque se encuentre a menos de 12 millas náuticas de la tierra más próxima, está prohibida toda descarga de hidrocarburos o mezclas oleosas en el mar desde un buque que no sea petrolero o desde las sentinas del espacio de máquinas de un petrolero, con algunas excepciones. Pueden utilizarse separadores de agua oleosa capaces de limitar las descargas de hidrocarburos a menos de 15 ppm. Las descargas de desperdicios sanitarios no tratados y de los dispositivos de saneamiento marino de los buques también contribuyen a la carga de nutrientes en la EBSJ. La mejora de las instalaciones portuarias de recogido de aguas de sentina y de bombeo de residuos sanitarios podría reducir significativamente las descargas de residuos de los buques en el EBSJ. Los fenómenos meteorológicos extremos representan una amenaza creciente para la infraestructura marítima del EBSJ. Los fenómenos meteorológicos extremos, como los huracanes, han causado grandes daños a la

infraestructura, interrumpiendo las actividades marítimas comerciales y recreativas. A medida que las condiciones cambiantes continúan exacerbando los fenómenos meteorológicos, la resiliencia de la infraestructura del EBSJ está cada vez más en peligro, desafiando la estabilidad económica, los esfuerzos de recuperación y las oportunidades turísticas (Comercio y Desarrollo de las Naciones Unidas, 2017).

La Ley de Descarga Incidental de Buques (VIDA, por sus siglas en inglés), promulgada en 2018, proporciona un marco nacional uniforme para regular las descargas incidentales a la operación normal de los buques comerciales bajo la sección 312(p) de la Ley de Agua Limpia. VIDA tiene como objetivo prevenir o reducir las descargas contaminantes de los buques en aguas estadounidenses mediante la consolidación y racionalización del mosaico previamente fragmentado de regulaciones federales, estatales y locales. En virtud de la VIDA, la USEPA es responsable de elaborar normas nacionales de comportamiento para las descargas accidentales, mientras que el Servicio de Guardacostas de EE. UU. elabora las correspondientes normas de aplicación. La Ley abarca varios tipos de descargas de los buques, incluidas las aguas de sentina, y establece procesos específicos de petición estatal para abordar las preocupaciones locales (USEPA, 2025).

Las descargas de aguas de sentina de los buques suponen un importante reto medioambiental en el sistema del EBSJ. El agua de sentina suele contener aceite, grasa, productos químicos y otros contaminantes que, si se vierten sin tratar, pueden degradar la calidad del agua y dañar los ecosistemas acuáticos. Reglamentos como los recogidos en VIDA y 33 CFR 151.10 tratan de limitar el contenido de aceite en las descargas de aguas de sentina y obligan a utilizar separadores de agua oleosa para reducir la contaminación. Sin embargo, el cumplimiento y las limitaciones de infraestructura, como las instalaciones inadecuadas de recogida de aguas de sentina en los puertos, siguen siendo problemas que contribuyen a la carga de contaminantes en el EBSJ. La mejora de las instalaciones portuarias para el recogido de aguas de sentina, la mejora de la vigilancia y el cumplimiento de la normativa, así como el aumento de la concienciación entre los operadores de buques son pasos fundamentales para minimizar el impacto ambiental de las descargas de los buques en el estuario.

Además del agua de sentina, las actividades de mantenimiento en el agua (como la limpieza del casco y la pintura) y las operaciones de repostaje de combustible aportan a la degradación de la calidad del agua a través de la liberación de contaminantes, incluyendo agentes antiincrustantes, combustibles y aceites en el estuario. Estas actividades pueden dar lugar a la descarga de sustancias peligrosas directamente en el agua si no se gestionan adecuadamente. Las descargas en vacío o la liberación de aguas sanitarias mientras un buque está parado pueden contribuir aún más a la carga de contaminantes en el EBSJ.

Figura6 . Infraestructura bajo jurisdicción de la Autoridad de los Puertos

Objetivos

- Reducir la cantidad de desbordes y descargas provenientes de la infraestructura portuaria y embarcaciones.

Acciones

****NUEVA-1*** Desarrollar e implantar el Plan de Seguridad, Protección y Vigilancia, administrado por la Oficina General de Seguridad de la Autoridad de los Puertos, para garantizar que apoya la Ley de Agua Limpia.*

Referencias

Desarrollar e implantar un amplio Plan de Seguridad, Protección y Vigilancia, administrado por la Oficina General de Seguridad de la Autoridad de los Puertos de Puerto Rico, es esencial para asegurar la sostenibilidad del EBSJ a la vez que apoya el cumplimiento con la Ley de Agua Limpia. En virtud de la Ley de la Autoridad de los Puertos de Puerto Rico, la Oficina General de Seguridad tiene el mandato de tomar todas las medidas necesarias para la administración, organización interna y mantenimiento de sus activos. Fundamentalmente, la Autoridad está obligada a preparar y revisar periódicamente un Plan de Seguridad, Protección y Vigilancia, que se ejecuta en coordinación con las agencias de seguridad locales y federales. Este plan sirve de base para salvaguardar las operaciones portuarias, proteger la seguridad pública y prevenir incidentes medioambientales que puedan comprometer la calidad del agua en el EBSJ (Ley nº 125-1942).

Sin embargo, a pesar de este claro mandato legal, actualmente no hay evidencia o documentación disponible al público que confirme la existencia o implementación activa de un Plan de Seguridad, Protección y Vigilancia por parte de la Autoridad de los Puertos de Puerto Rico. Esta ausencia pone de relieve una laguna significativa en las medidas formalizadas de seguridad y protección ambiental para el estuario, lo que subraya la necesidad de esfuerzos dedicados a desarrollar y hacer cumplir este plan integral para cumplir tanto los objetivos operativos como ambientales.

En consonancia con los requisitos legales y atendiendo estas lagunas, en 2024, la Guardia Costera de EE. UU. llevó a cabo un taller de Evaluación de Seguridad de Puertos y Vías Navegables (PAWSA, por sus siglas en inglés) para el Puerto de San Juan, centrándose en el complejo entorno marítimo del estuario. El proceso de PAWSA contó con la participación de expertos locales y partes interesadas en una evaluación de riesgos estructurada para identificar los peligros para la seguridad de las vías navegables que afectan tanto al medioambiente como a la salud pública. Entre los principales factores de riesgo evaluados figuraban la densidad del tráfico de buques, los peligros para la navegación, la acumulación de sedimentos y la configuración de la infraestructura, todos ellos factores críticos para mantener la seguridad de las operaciones portuarias en el EBSJ. La evaluación hizo énfasis en la necesidad de mejorar los sistemas de seguimiento de buques más allá del actual Sistema de Identificación Automática (AIS), recomendando reforzar las capacidades de control portuario con mejores herramientas de comunicación y observación. Otros retos identificados son la acumulación de sedimentos que reducen la profundidad navegable, la insuficiente señalización de los canales, la retirada temporal de las ayudas a la navegación durante el dragado y los conflictos de anclaje de los buques que complican la seguridad de la navegación (U.S. Coast Guard, 2024).

El taller PAWSA y el informe resultante representan un importante paso adelante para abordar las vulnerabilidades en materia de seguridad y medioambiente de la infraestructura portuaria del EBSJ. Aunque no sustituye al plan obligatorio de seguridad, protección y vigilancia, el PAWSA proporciona un marco estructurado y una plataforma de colaboración entre las partes interesadas que puede informar y apoyar el desarrollo y la eventual aplicación del plan integral exigido por la ley. Este avance es fundamental para

2004 garantizar que las medidas de seguridad y vigilancia protejan eficazmente la calidad del agua del estuario,
2005 manteniendo así los objetivos de la Ley de Agua Limpia.

2006 **Actividades**

Actividad	Métricas de cumplimiento	Metas	Parte(s) interesada(s) y socio(s) responsable(s)	Estatus	Periodo de tiempo	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Desarrollar el Plan de Seguridad, Protección y Vigilancia.	Plan completado.	Plan desarrollado.	Líder: Autoridad de los Puertos de Puerto Rico	Pendiente	0-2 años	A determinar se	WRDA, DTOP
2. Aplicar el Plan de Seguridad, Protección y Vigilancia.	Protocolo establecido para aplicar el plan.	Plan aplicado.	Líder: Autoridad de los Puertos de Puerto Rico	Pendiente	0-2 años	A determinar se	WRDA, DTOP
3. Supervisar la eficacia e identificar y atender continuamente las áreas susceptibles de mejora.	Mejora de las medidas de seguridad mediante la aplicación continua del plan.	Se determinará la eficacia del plan y se determinarán las necesidades adicionales.	Líder: Estuario	Pendiente	3-5 años	A determinar se	WRDA, DTOP

2007 **Requisitos reglamentarios y de política pública**

2008 Necesidad de garantizar el cumplimiento de la Ley de Agua Limpia y la directriz establecida por la Ley nº
2009 125-1942 al desarrollar el plan.

2010 ****NUEVA-2* Desarrollar y aplicar un plan de infraestructuras para garantizar que todos los puertos marítimos apoyan los***
2011 ***esfuerzos de restauración y conservación del agua.***

2012 **Referencias**

2013 El EBSJ es un centro neurálgico para el comercio marítimo, el turismo y el sustento de las comunidades.
2014 Dadas las crecientes presiones de la urbanización, la actividad industrial y las operaciones marítimas, cada
2015 vez es más imperativo desarrollar y aplicar un plan de infraestructuras para los puertos marítimos del EBSJ
2016 que apoye activamente los esfuerzos de restauración y conservación del agua. Esta iniciativa está en
2017 consonancia con los objetivos de la Ley de Agua Limpia, cuyo fin es reducir las descargas contaminantes y
2018 proteger la calidad del agua en este delicado entorno estuarino.

2019 Un paso fundamental en este proceso es la realización de una auditoría exhaustiva de las infraestructuras
2020 portuarias existentes y de las instalaciones relacionadas. La auditoría debe evaluar el estado, la capacidad y
2021 el rendimiento ambiental de las estructuras portuarias, incluidos muelles, embarcaderos, sistemas de aguas
2022 pluviales, instalaciones de tratamiento de aguas sanitarias y sistemas de manejo de aguas de sentina. Junto
2023 a ello, es esencial un análisis DAFO (Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades) para identificar los
2024 factores internos y externos que influyen en la capacidad de los puertos para cumplir la reglamentación
2025 ambiental y contribuir a la mejora de la calidad del agua. La evaluación revelará lagunas críticas, como
2026 infraestructuras anticuadas o inadecuadas, medidas insuficientes de control de la contaminación y prácticas
2027 operativas que pueden afectar negativamente a la salud del estuario.

2028 El deseo de colaborar más estrechamente con los puertos marítimos refleja el reconocimiento de que los
2029 puertos son partes interesadas indispensables en la conservación de los estuarios. Este enfoque apoya la

2030 aplicación proactiva de las mejores prácticas de manejo y la mejora de las infraestructuras que reducen las
2031 cargas contaminantes, como la mejora del tratamiento de las aguas pluviales, la mejora de los sistemas de
2032 recogido de aguas de sentina y la integración de infraestructura verde.

2033 **Actividades**

Actividad	Métricas de cumplimiento	Metas	Parte(s) interesada(s) y socio(s) responsable(s)	Estatus	Periodo de tiempo	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Evaluar la infraestructura del puerto marítimo para investigar y evaluar la información y los planes existentes.	Llevar a cabo una inspección de todas las estructuras portuarias de aguas pluviales, alcantarillado sanitario, protección del litoral y muelles.	Completar las inspecciones y la evaluación.	Líder: Autoridad de los Puertos de Puerto Rico	Pendiente	0-2 años	A determinar se	WRDA, DTOP
2. Utilizar la auditoría de la Actividad 1 para realizar un análisis DAFO.	Identificar la infraestructura crítica que requiere mantenimiento o sustitución, preparar el calendario de mantenimiento e identificar nuevas tecnologías o prácticas.	Mejorar el rendimiento o la longevidad de las infraestructuras, reducir o eliminar los fallos y optimizar los costos de mantenimiento.	Líder: Autoridad de los Puertos de Puerto Rico	Pendiente	5+ años	A determinar se	WRDA, DTOP
3. Revisar y actualizar las BMP del Plan de Prevención de la Contaminación de las Aguas Pluviales (SWPPP)	Asegurar que toda la infraestructura de aguas pluviales sea inspeccionada, mantenida y esté en conformidad para asegurar el tratamiento del agua y la protección adecuada contra inundaciones.	Se completarán las inspecciones y el mantenimiento según el calendario del SWPPP.	Líder: Autoridad de los Puertos de Puerto Rico	Pendiente	0-2 años	A determinar se	DTOP

2034 **Requisitos reglamentarios y de política pública**

2035 Los requisitos reglamentarios y de política pública se determinarán en función de los análisis realizados
2036 para esta acción.

2037 ****NUEVA-3* Elaborar y aplicar un plan para garantizar que todos los aeropuertos cumplen con la Ley de Agua Limpia.***

2038 **Referencias**

2039 El sistema del EBSJ se ve afectado por los problemas de calidad del agua y los factores de estrés ambiental
2040 derivados del entorno construido. Además de las actividades marítimas, los aeropuertos de la cuenca del
2041 EBSJ se añaden a las fuentes potenciales de contaminación del agua a través de la escorrentía de las aguas

2042 pluviales, las operaciones de deshielo, el manejo de combustible y otras actividades relacionadas con los
2043 aeropuertos. Garantizar que todos los aeropuertos del EBSJ cumplan con la Ley de Agua Limpia es vital para
2044 proteger la calidad del agua del estuario y apoyar objetivos más amplios de conservación y restauración.

2045 Cada vez se reconoce más la necesidad de colaborar estrechamente con los aeropuertos como partes
2046 interesadas clave en la cuenca del estuario para reducir las descargas contaminantes y mejorar el
2047 cumplimiento de la reglamentación federal sobre calidad del agua. Los aeropuertos son entornos
2048 operativos complejos en los que contaminantes como los hidrocarburos, metales pesados, productos
2049 químicos y otros pueden entrar en las aguas pluviales y, en última instancia, descargarse en los cuerpos de
2050 agua cercanos si no se gestionan adecuadamente. Estas descargas pueden degradar los hábitats acuáticos,
2051 perjudicar la calidad del agua y poner en peligro la salud pública.

2052 La elaboración y aplicación de un plan de cumplimiento global adaptado a los retos específicos de los
2053 aeropuertos de la región del EBSJ facilitará una mejor coordinación entre las autoridades aeroportuarias, los
2054 organismos medioambientales y las partes interesadas de la comunidad. El plan debería incluir
2055 evaluaciones exhaustivas de la infraestructura aeroportuaria existente y de las prácticas operativas para
2056 identificar posibles fuentes de contaminantes y lagunas en el cumplimiento. También debería promover
2057 medidas como un mejor tratamiento de las aguas pluviales, la prevención de descargas y protocolos de
2058 respuesta, así como la supervisión e información periódicas.

2059 **Actividades**

Actividad	Métricas de cumplimiento	Metas	Parte(s) interesada(s) y socio(s) responsable(s)	Estatus	Periodo de tiempo	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Auditar las estructuras del aeropuerto.	Inspección de las aguas pluviales, el alcantarillado sanitario y las estructuras de protección del litoral del aeropuerto.	Completar las inspecciones y la evaluación.	Líderes: Autoridad Portuaria de Puerto Rico, Aerostar Airport Holdings, LLC	Pendiente	0-2 años	A determinarse	DTOP
2. Utilizar la auditoría de la Actividad 1 para realizar un análisis DAFO.	Identificar la infraestructura crítica que requiere mantenimiento o sustitución, preparar el calendario de mantenimiento e identificar nuevas tecnologías o prácticas.	Mejorar el rendimiento o la longevidad de las infraestructuras, reducir o eliminar los fallos y optimizar los costos de mantenimiento.	Líderes: Autoridad Portuaria de Puerto Rico, Aerostar Airport Holdings, LLC	Pendiente	3-5 años	A determinarse	DTOP

Actividad	Métricas de cumplimiento	Metas	Parte(s) interesada(s) y socio(s) responsable(s)	Estatus	Periodo de tiempo	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
3. Revisar y actualizar las BMP en el SWPPP.	Asegurar que toda la infraestructura de aguas pluviales sea inspeccionada, mantenida y en cumplimiento para asegurar el tratamiento del agua y una adecuada protección contra inundaciones.	Completar la inspección y el mantenimiento según el calendario del SWPPP.	Líderes: Autoridad de los Puertos de Puerto Rico, Aerostar Airport Holdings, LLC	Pendiente	0-2 años	A determinarse	DTOP

Requisitos reglamentarios y de política pública

Los requisitos reglamentarios y de política pública para los aeropuertos procederán de los análisis de esta acción.

WS-14 Crear grupo especial para monitorear los muelles y otras instalaciones para embarcaciones en el sistema del EBSJ y garantizar su cumplimiento con las reglamentaciones y permisos.

Referencias

Los muelles proporcionan un acceso importante y necesario al agua, pero su uso y funcionamiento representan una fuente potencial de contaminación para el sistema del EBSJ. Dado que estas instalaciones están situadas frente al mar, tienen un alto potencial de afectar negativamente a los recursos naturales, especialmente a medida que aumenta su número. Estos impactos pueden estar asociados al emplazamiento, la construcción o el funcionamiento de dichas instalaciones. Algunos efectos potenciales son el ensombrecimiento de la vegetación acuática sumergida; la alteración de la línea de costa natural; y la carga de contaminantes asociada al repostaje de combustible, la reparación de lanchas motoras, los detergentes de limpieza de embarcaciones y la lixiviación de productos químicos y pinturas de las estructuras de madera. El impacto en una zona determinada es, en general, proporcional al tipo y tamaño de una estructura; sin embargo, también debe tenerse en cuenta las consecuencias acumulativas en una zona, ya que un número significativo de muelles a pequeña escala podría tener un efecto similar al de todo un puerto deportivo. El sistema del EBSJ es especialmente vulnerable a estas secuelas debido a la escasa profundidad de la mayoría de sus cuerpos de agua.

Se requieren mejoras de infraestructura para proporcionar instalaciones de bombeo de residuos sanitarios en los puertos deportivos, agua de lastre en los puertos y recogido de agua de sentina en todas las instalaciones. Las descargas de desperdicios sanitarios y aguas grises de las pequeñas embarcaciones de recreo pueden estar exentas de regulación en algunas condiciones; sin embargo, todas estas descargas pueden contribuir a la contaminación del EBSJ, incluido el aumento de nutrientes y patógenos. Las instalaciones de bombeo de los puertos, incluso los deportivos, están obligadas a gestionar estos residuos en el mismo muelle, y la presencia de estas instalaciones puede hacer que los requisitos de descarga de aguas grises de las embarcaciones sean más estrictos. El agua de lastre puede contener residuos oleosos, agua contaminada procedente de la fuente o especies invasoras o no autóctonas como resultado del agua de origen procedente de puertos extranjeros. La descarga de agua de lastre se ha citado como fuente de

2089 especies invasoras como el pez león y el mejillón cebra. Se pueden instalar sistemas de manejo del agua de
2090 lastre en los buques para tratar el agua de lastre antes de su descarga. En los puertos pueden exigirse
2091 instalaciones para gestionar el agua de lastre si los buques no disponen de sistemas de manejo del agua de
2092 lastre que funcionen correctamente. El agua de lastre es el agua que se acumula en la parte más baja del
2093 buque y puede contener aceites, grasas y otros residuos arrastrados desde arriba. Pueden utilizarse
2094 separadores de agua y aceite para garantizar que las aguas de sentina se vierten con menos de 15 partes
2095 por millón de aceite. Las instalaciones en tierra para recoger y gestionar las aguas de sentina pueden
2096 reducir el impacto en las aguas superficiales del EBSJ.

2097 Los puertos deportivos, las instalaciones de mantenimiento y reparación de embarcaciones están regulados
2098 por el programa NPDES y suelen requerir un permiso general multisectorial para operar en el sector Q o el
2099 sector R del programa. Este programa identifica contaminantes potenciales, como pintura y restos de
2100 pintura, aguas de lavado y productos derivados del petróleo, y exige que las instalaciones dispongan de
2101 BMP para eliminar la descarga de contaminantes procedentes de puertos deportivos y astilleros. El
2102 programa exige la preparación del Plan de Prevención de la Contaminación de las Aguas Pluviales que
2103 incluya formación, seguimiento y presentación de informes para garantizar la aplicación y el mantenimiento
2104 eficaces de las BMP. Entre los problemas de incumplimiento más comunes se incluyen la descarga de aguas
2105 de lavado, el almacenamiento inadecuado de petróleo y materiales peligrosos, el manejo y almacenamiento
2106 inadecuado de petróleo y aceites usados, y las prácticas de limpieza y contención inadecuadas durante las
2107 actividades de preparación del fondo y pintura de embarcaciones. La USEPA aplica este programa en Puerto
2108 Rico.

2109 **Actividades**

Actividad	Métricas de cumplimiento	Metas	Parte(s) interesada(s) y socio(s) responsable(s)	Estatus	Periodo de tiempo	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Crear el grupo especial con partes interesadas que formule recomendaciones sobre medidas para controlar la proliferación de muelles y otras instalaciones para embarcaciones dentro del sistema del EBSJ.	1) Desarrollar y hacer cumplir sistemas de manejo de aguas pluviales que eviten la contaminación por escorrentía. 2) Mejorar las infraestructuras para evitar descargas ilegales, como las aguas sanitarias y el lastre de las embarcaciones. 3) Implantar programas de formación. 4) Elaborar planes de preparación ante emergencias por descargas de petróleo o diésel y evacuación de embarcaciones en caso de eventos extremos.	Creación de un consejo consultivo.	Líder: Estuario Socios ejecutivos: DRNA, USEPA, Servicio de Pesca y Vida Silvestre de los Estados Unidos (USFWS), municipios, puertos deportivos, grupos y organizaciones náuticas.	En marcha	0-2 años	A determinarse	DRNA, USFWS, USEPA
2. Recomendar medidas coercitivas contra las estructuras ilegales.	Reducción de las estructuras ilegales que afectan al sistema del EBSJ.	Adoptar medidas coercitivas.	Líder: DRNA	Pendiente	0-2 años	A determinarse	DRNA
3. Recomendar el desarrollo de muelles públicos y otras instalaciones en zonas donde no se perjudiquen los recursos naturales.	Mejora de la ubicación de las instalaciones para servir a la comunidad al tiempo que se protegen los recursos naturales.	Se recomendará la ubicación de las instalaciones.	Líder: DRNA	Pendiente	0-2 años	A determinarse	DRNA

2110 **Requisitos reglamentarios y de política pública**

2111 Por determinar en función de las conclusiones del grupo especial.

***NUEVA-4* Elaborar directrices para la construcción y modernización de puertos deportivos con el fin de incorporar características de diseño sostenible.**

Referencias

El impacto de los recientes fenómenos meteorológicos extremos en la infraestructura de transporte de Puerto Rico subraya la vulnerabilidad de los sistemas marítimos. El manejo eficaz de puertos y marinas, junto con una infraestructura resistente y proactiva, es esencial para mantener y mejorar la salud económica y ecológica del sistema. Además, la integración de estructuras artificiales de hábitats de vivero en las instalaciones de puertos deportivos y marinas debe tenerse en cuenta durante el diseño y desarrollo de proyectos de puertos deportivos (Bauzá-Ortega, 2016). El desarrollo costero a lo largo de la bahía de San Juan ha alterado la supervivencia de los peces jóvenes en etapas vitales cruciales al eliminar el hábitat crítico, lo que conduce a una disminución de la población adulta. Por lo tanto, la creación de hábitats de cría es esencial para la supervivencia de la población de peces costeros y la mejora de la pesca comercial y recreativa. Además, los hábitats artificiales protegerán y mejorarán la biodiversidad marina y contribuirán a la salud general de la bahía de San Juan. La bahía de San Juan es el único cuerpo de agua del sistema EBSJ en la que está permitida la pesca comercial. Sin embargo, la base de una industria pesquera se basa en la disponibilidad de un hábitat adecuado para la cría de peces. Una forma de mejorar la pesca es mediante la construcción y el despliegue de hábitats de arrecifes artificiales bajo los puertos deportivos y las instalaciones portuarias.

Actividades

Actividad	Métricas de cumplimiento	Metas	Parte(s) interesada(s) y socio(s) responsable(s)	Estatus	Periodo de tiempo	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Llevar a cabo una revisión exhaustiva de las normas de diseño de puertos deportivos existentes y de las mejores prácticas de desarrollo sostenible.	Compilación de una base de datos de prácticas para un desarrollo más sostenible de los puertos deportivos.	Base de datos recopilada.	Líder: DRNA, Socios ejecutivos: USFWS, puertos deportivos, organizaciones náuticas, academia.	Pendiente	0-2 años	A determinarse	DRNA, USFWS, municipios, puertos deportivos
2. Aplicar requisitos de diseños sostenibles en la construcción de puertos deportivos y proyectos de modernización.	Mejora de la sostenibilidad de las infraestructuras y protección de los espacios naturales.	Normativa adoptada.	Líder: DRNA Socios ejecutivos: USFWS, puertos deportivos, organizaciones náuticas.	Pendiente	3-5 años	A determinarse	DRNA, USFWS, municipios, puertos deportivos

Actividad	Métricas de cumplimiento	Metas	Parte(s) interesada(s) y socio(s) responsable(s)	Estatus	Periodo de tiempo	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
3. Construcción y despliegue de hábitats de arrecifes artificiales bajo puertos deportivos e instalaciones portuarias.	Aumento del hábitat de arrecifes para incrementar los recursos bentónicos y contribuir al mantenimiento de los recursos pesqueros.	Arrecifes creados.	Líder: DRNA Socios ejecutivos: USFWS, puertos deportivos, organizaciones náuticas	Pendiente	3-5 años	A determinar se	DRNA, USFWS, municipios, puertos deportivos

Requisitos normativos y de política pública

Puede ser necesario modificar los códigos y ordenanzas municipales para permitir la aplicación de las directrices recomendadas.

Referencias

Bauzá-Ortega J. 2015. Plan de Adaptación al Cambio Climático del Estuario de la Bahía de San Juan. San Juan, PR: Programa del Estuario de la Bahía de San Juan.

Bauzá-Ortega J. 2016. Evaluación de la Creación de un Vivero Acuático para Promover la Población de Peces y Mariscos en el Puerto de la Bahía de San Juan.

D. Runde y L. Sandin. 2021. Reimagining the U.S. Strategy in the Caribbean. <https://www.csis.org/analysis/reimagining-us-strategy-caribbean>.

Estuario. Julio de 2000. Plan Integral de Conservación y Manejo, Capítulo Tres: Water and Sediment Quality Action Plan. <https://estuario.org/wp-content/uploads/2019/10/CHAP3.pdf>.

Naciones Unidas Comercio y Desarrollo. 2017. Climate change impacts on coastal transport infrastructure in the Caribbean: enhancing the adaptive capacity of Small Island Developing States (SIDS), en Climate Risk and Vulnerability Assessment Framework for Caribbean Coastal Transport Infrastructure, U.N.C.o.T.a.D.U.U.p. 1415O., Editor.

USACE, Borrador de Evaluación Ambiental Suplementaria. San Juan Harbor, Puerto Rico, Seagrass Mitigation, Additional Sand Source. Octubre de 2021.

Guardacostas de los Estados Unidos. 2024. Ports and Waterways Safety Assessment Workshop Report. <https://navcen.uscg.gov/sites/default/files/pdf/San%20Juan%20PAWSA%20Report%2024-25%20April%202024.pdf>.

USEPA. 2025. The Vessel Incidental Discharge Act (VIDA). <https://www.epa.gov/vessels-marinas-and-ports/vessel-incidental-discharge-act-vida>.

USEPA, Sistema Nacional de Eliminación de Descargas Contaminantes. Stormwater Discharges from Industrial Activities-EPA's 2021 MSGP. www.epa.gov/npdes/stormwater-discharges-industrial-activities-epas-2021-msgp.

Infraestructuras de transporte y movilidad

Base científica

Hay más carreteras que ríos en la cuenca del EBSJ, y la infraestructura vial de la cuenca transporta agua al EBSJ. Mediante la aplicación de sólidas medidas de seguridad que garanticen la coexistencia de ciclistas y automovilistas, pueden incorporarse al sistema vial modos de transporte alternativos y limpios. Esto incluye el establecimiento continuo de una señalización clara, carriles exclusivos para bicicletas y amplias campañas de concienciación pública. Al abordar los problemas de seguridad, la región puede mitigar los riesgos y promover un entorno más seguro para todos los usuarios del transporte. Entre las alternativas están la infraestructura verde, como árboles para calmar el tráfico, pero también pantanos de biorretención, jardines de lluvia, flujo a través de plantadores y superficies permeables para reducir los impactos de la escorrentía de aguas pluviales (DTOP, 2018).

En 2023, el DTOP de Puerto Rico lideró la creación del Plan de Transporte Multimodal de Largo Alcance de Puerto Rico. En este plan se identifica la estructura organizativa, se presenta una visión para el transporte en Puerto Rico y evalúa el financiamiento de proyectos con un plazo de planificación hasta el año 2050. El plan se puso en marcha para alinearse con los requisitos federales descritos en la Ley de Eficiencia del Transporte Intermodal de Superficie de 1991 y la Ley de Arreglo del Transporte de Superficie de Estados Unidos (FAST). También en el plan se reconoce a San Juan como un Área de Administración de Transporte, y se estableció un plan separado para esta ciudad capital. Las metas y objetivos del Plan de San Juan se centraron en cuatro temas generales, o las cuatro E: eficiencia, medioambiente (environment en inglés), eficacia y economía. Los objetivos medioambientales son de especial interés para el Plan del Estuario:

- B.1 Promover infraestructuras de transporte que preserven ecosistemas equilibrados minimizando los impactos adversos al entorno natural de la Isla, concediendo un peso preponderante a las alternativas de rehabilitación y mejora de las infraestructuras existentes.
- B.2 Reducir las emisiones de gases de efecto de invernadero, el consumo de energía y la emisión de la huella de carbono; promover el "crecimiento inteligente", las comunidades habitables y mejorar la calidad del aire mediante la aplicación de estrategias de sostenibilidad y metodologías de manejo ambiental.
- B.3 Apoyar la planificación integrada del transporte y el uso del suelo, intentando mantener la coherencia con los usos del suelo existentes y planificados.
- B.4 Mejorar los modos alternativos de transporte y las estrategias de demanda de viajes mediante la implementación y mejora de los accesos peatonales, carriles de bicicletas, planes de transporte público, puertos de recarga para vehículos eléctricos, entre otras alternativas medioambientalmente sostenibles, que reduzcan la dependencia de los vehículos motorizados y mejoren los modos alternativos de transporte.
- B.5 Reducir la vulnerabilidad de las infraestructuras de transporte para que soporten eventos meteorológicos extremos mediante infraestructuras resilientes.
- B.6 Mejorar la salud física y mental promoviendo y aumentando los modos activos mediante intervenciones o nuevos proyectos con infraestructuras adecuadas (DOTP, 2023).

El Plan Multimodal de Transporte de Largo Alcance y el Plan y Guía de Diseño para Calles Completas en Puerto Rico preparado por la Sociedad Puertorriqueña de Planificación proveen una hoja de ruta para las calles modernas en la cuenca del EBSJ. Al mejorar el manejo de las aguas pluviales mediante el uso de BMP

adecuadas y la infraestructura verde, el sistema vial puede proporcionar un manejo sostenible de la
escorrentía para proteger el EBSJ.

Objetivos

- Reducir la cantidad de sedimentos y contaminantes que llegan al sistema estuarino provenientes de la infraestructura de transporte y movilidad.
- Aumentar las opciones disponibles de medios de transporte alternativo, tales como peatonales y ciclistas.

Acciones

****NUEVA-1* Elaborar un mapa completo del sistema de carreteras federales, estatales y locales.***

Referencias

Elaborar un mapa de todo el sistema de carreteras dentro de la cuenca hidrográfica del EBSJ puede ayudar a gestionar la calidad del agua al identificar los lugares en los que es necesario controlar o mitigar la contaminación por escorrentía. Un mapa detallado de la red de carreteras, incluidos los sistemas de drenaje y la topografía circundante, puede ayudar a visualizar por dónde fluyen la escorrentía de las carreteras y los contaminantes asociados a los cuerpos de agua cercanos. El mapa puede utilizarse también para identificar los tramos de carretera o las infraestructuras que son fuentes importantes de contaminación, como las zonas con gran volumen de tráfico, sistemas de drenaje inadecuados u obras en construcción, que pueden afectar a los ecosistemas acuáticos y a las fuentes de agua potable.

El mapa completo de carreteras ayudará a dar prioridad a las zonas en las que se deban aplicar medidas de manejo de las aguas pluviales, como charcas de retención, zonas de amortiguación con vegetación o pavimentos permeables, así como actividades de mantenimiento, como barrido de calles y retirada de escombros, para reducir la escorrentía y los contaminantes. Además, el mapa puede utilizarse para informar sobre el diseño y la ubicación de la infraestructura de drenaje para proporcionar un manejo más eficiente de las aguas pluviales.

La visualización en un mapa de los datos sobre la calidad del agua en relación con las infraestructuras viales constituye una poderosa herramienta para fundamentar las decisiones políticas, las iniciativas de planificación y la asignación presupuestaria para proteger los recursos hídricos. Al proporcionar una visión clara y completa de la relación entre la infraestructura vial y la calidad del agua, el mapa completo del sistema vial puede ser una herramienta valiosa para un manejo y protección eficaces de los recursos hídricos.

2228 **Actividades**

Actividad	Métricas de cumplimiento	Metas	Parte(s) interesada(s) y socio(s) responsable(s)	Estatus	Periodo de tiempo	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Recopilar información sobre infraestructuras de aguas pluviales.	Recopilar información sobre infraestructuras de aguas pluviales de carreteras federales, estatales y municipales, así como de instalaciones portuarias y aeroportuarias.	Recopilación de información sobre ubicaciones de infraestructura .	Líder: Estuario Socios ejecutivos: Autoridad de los Puertos de Puerto Rico, DTOP, DRNA, municipios.	En curso	0-2 años	A determinar se	DTOP, DRNA
2. Preparar una base de datos de GIS para la infraestructura de aguas pluviales en la cuenca del EBSJ.	Integrar las infraestructuras federales, estatales y municipales en una única base de datos.	Creación de una base de datos GIS.	Líder: Estuario Socios ejecutivos: Autoridad de los Puertos de Puerto Rico, DTOP, DRNA, municipios.	En curso	0-2 años	A determinar se	DTOP, DRNA

2229 **Requisitos reglamentarios y de política pública**

2230 El mapa exhaustivo proporcionará información para identificar los cambios reglamentarios y políticos que
2231 puedan ser necesarios para gestionar mejor las aportaciones contaminantes del sistema vial con el fin de
2232 mejorar la calidad del agua.

2233 ****NUEVA-2* Garantizar que los trabajos de repavimentación mantengan las pendientes y la nivelación adecuadas para***
2234 ***gestionar eficazmente las aguas pluviales y evitar la obstrucción de las entradas del alcantarillado.***

2235 **Referencias**

2236 Las comunidades del sistema del EBSJ han expresado su preocupación por las obras de repavimentación
2237 que obstruyen inadvertidamente las entradas del alcantarillado e interrumpen el manejo eficaz de las aguas
2238 pluviales. La pendiente y nivelación adecuadas durante la repavimentación de las carreteras son
2239 fundamentales para garantizar que las aguas pluviales se dirijan eficazmente hacia los sistemas de drenaje,
2240 evitando inundaciones localizadas, desbordamientos del alcantarillado y contaminación ambiental. Cuando
2241 los proyectos de repavimentación descuidan las normas de nivelación adecuadas, pueden provocar que el
2242 agua se estanque en las superficies de las carreteras u obstruir las entradas del alcantarillado, agravando
2243 los problemas de calidad del agua en el estuario.

2244 El manejo eficaz de las aguas pluviales es esencial en el EBSJ debido a su paisaje urbanizado y a su
2245 vulnerabilidad a las lluvias torrenciales. Las aguas pluviales mal gestionadas pueden transportar
2246 contaminantes al estuario, añadiéndolos a la carga de nutrientes, la sedimentación y la degradación de los
2247 hábitats acuáticos. Garantizar que los proyectos de repavimentación mantengan las pendientes adecuadas
2248 y no obstruyan las entradas de alcantarillado contribuye tanto a la prevención de inundaciones como a la
2249 protección de la calidad del agua en cumplimiento de la Ley de Agua Limpia.

2250 Para resolver estos problemas es necesaria la colaboración entre las autoridades municipales, las agencias
2251 de transporte y las partes interesadas de la comunidad a fin de establecer directrices claras y supervisar las
2252 obras de repavimentación en la cuenca del EBSJ. La incorporación de las mejores prácticas en el diseño de
2253 los taludes, las inspecciones rutinarias y los mecanismos de retroalimentación de la comunidad ayudarán a
2254 prevenir la obstrucción del alcantarillado y a mejorar la resistencia de la infraestructura de aguas pluviales.

2255 **Actividades**

Actividad	Métricas de cumplimiento	Metas	Parte(s) interesada(s) y socio(s) responsable(s)	Estatus	Período de tiempo	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Establecer criterios para la concesión de permisos, la construcción de BMP y la inspección.	Los criterios de concesión de permisos e inspección documentaban las elevaciones existentes y propuestas, garantizaban la implantación de las BMP de construcción adecuadas y evaluaban los impactos directos en los colectores de aguas pluviales.	Nuevos criterios para la concesión de permisos y la inspección.	Líder: DTOP, DRNA Socios ejecutivos: municipios	Pendiente	0-2 años	A determinarse	DTOP, DRNA
2. Crear un grupo de trabajo de inspección de repavimentación para llevar a cabo las inspecciones.	Crear un grupo de trabajo de inspecciones para mejorar la calidad del agua.	Creación de un grupo de trabajo.	Líder: Estuario Socios ejecutivos: DTOP, DRNA, municipios	Pendiente	0-2 años	A determinarse	DTOP, DRNA
3. Realizar las inspecciones y aplicar las correcciones señaladas para garantizar una nivelación adecuada.	Inspecciones completadas para garantizar que las carreteras estén debidamente niveladas cuando se repavimenten.	Nivelación adecuada de las carreteras.	Líder: DTOP, DRNA Socios ejecutivos: municipios	Pendiente	3-5 años	A determinarse	DTOP, DRNA

2256 **Requisitos reglamentarios y de política pública**

2257 Los esfuerzos por mantener un drenaje adecuado de las alcantarillas deberán ajustarse a la reglamentación
2258 local y federal.

****NUEVA-3* Colaborar con los municipios y planificadores para incluir infraestructuras de transporte alternativas, como carriles de bicicletas, aceras y puntos de acceso al transporte público.***

Referencias

La coordinación y colaboración en materia de planificación urbana es necesaria para apoyar los métodos de transporte alternativos menos contaminantes para el aire y el agua y para mantener la seguridad de las personas. La reducción de la contaminación atmosférica puede repercutir también en la calidad del agua, ya que la deposición de nitrógeno procedente del aire contribuye significativamente a la presencia de nitrógeno en el EBSJ. El fomento de modos alternativos de transporte de una manera segura y eficaz se puede lograr mediante el diseño de entornos peatonales, la incorporación de la infraestructura ciclista en los trazados urbanos, y asegurando que los nuevos desarrollos estén alineados con los objetivos del transporte sostenible.

La Ley FAST se promulgó en 2015, y los Planes de Transporte Multimodal a Largo Plazo se prepararon para cumplir con los requisitos de la Ley FAST. Con este fin, los planes hacen énfasis en la inclusión de modos no motorizados de transporte, calles completas, movilidad de mercancías, habitabilidad, infraestructura resistente, fiabilidad, medioambiente, energía, consideraciones turísticas y principios de sostenibilidad y crecimiento inteligente, que se alinean con las metas y objetivos del EBSJ (DTOP, 2023).

Actividades

Actividad	Métricas de cumplimiento	Metas	Parte(s) interesada(s) y socio(s) responsable(s)	Estatus	Periodo de tiempo	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Elaborar directrices para incorporar infraestructuras de transporte alternativo en los planes de desarrollo.	Mejor información sobre cómo añadir transporte alternativo para las comunidades del EBSJ.	Elaboración de directrices.	Líder: DTOP Socios ejecutivos: Autoridad Metropolitana de Autobuses, Comisión para la Seguridad en el Tránsito, municipios.	Pendiente	0-2 años	A determinarse	DTOP, Autoridad Metropolitana de Autobuses, Comisión para la Seguridad en el Tránsito, municipios
2. Abogar por la inclusión de infraestructuras de transporte alternativo en los códigos de zonificación y la reglamentación de desarrollo locales.	Eliminación de barreras para incluir el transporte alternativo en los proyectos de desarrollo.	Barreras eliminadas.	Líder: DTOP Socios ejecutivos : Autoridad Metropolitana de Autobuses, Comisión para la Seguridad en el Tránsito, municipios, grupos de defensa locales.	Pendiente	0-2 años	A determinarse	DTOP, Autoridad Metropolitana de Autobuses, Comisión para la Seguridad en el Tránsito, municipios

Actividad	Métricas de cumplimiento	Metas	Parte(s) interesada(s) y socio(s) responsable(s)	Estatus	Periodo de tiempo	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
3. Establecer proyectos de transporte alternativo en zonas clave de la cuenca del EBSJ.	Mejora del acceso en toda la cuenca.	Proyectos de transporte alternativo finalizados.	Líder: DTOP Socios ejecutivos: Autoridad Metropolitana de Autobuses, municipios	Pendiente	3-5 años	A determinarse	DTOP, Autoridad Metropolitana de Autobuses, Comisión para la Seguridad en el Tránsito, municipios

2276 **Requisitos reglamentarios y de política pública**

2277 Es posible que sea necesario modificar los códigos y reglamentos de construcción locales para incentivar a

2278 los desarrolladores a incluir infraestructuras de transporte alternativo. Estas modificaciones de los códigos

2279 locales pueden ser necesarias actualmente para cumplir con el DTOP, la Ley FAST y otros requisitos

2280 promulgados recientemente.

2281 **Referencias**

2282 2023 Leyes de Puerto Rico TÍTULO NOVENO - Carreteras y Tránsito (§§ 1-8 - 5725) Capítulo 6 - Calles

2283 Completas (§§ 146 - 151) § 147 - Declaración de política pública.

2284 DTOP. 2018. Plan integral de bicicletas y peatones para Puerto Rico.

2285 DTOP. 2018. Plan de calles completas y guías de diseño de Puerto Rico.

2286 DTOP. 2023. Planes de Transporte Multimodal de Largo Alcance de Puerto Rico.

2287 DTOP. 2023. Planes de Transporte Multimodal a Largo Plazo de San Juan TMA.

Monitoreo colaborativo de la calidad del agua y sedimentos del lecho estuarino e informe de datos

Base científica

La creación de una red completa de monitoreo de la calidad del agua, la calidad de los sedimentos bentónicos y los recursos biológicos del sistema del EBSJ es importante para determinar las condiciones actuales y evaluar los proyectos y esfuerzos de restauración. Un conjunto de datos sólido proporcionará información sobre las condiciones históricas del sistema para comprender mejor las interacciones entre las fuentes contaminantes de la cuenca y las respuestas dentro del estuario. El monitoreo de la calidad de los sedimentos es un componente clave de estos esfuerzos, ya que los sedimentos actúan como sumideros y como fuentes potenciales de contaminantes que afectan a los ecosistemas acuáticos (Otero & Meléndez, 2011). El enfoque del esfuerzo de monitoreo en los contaminantes de los sedimentos es crítico porque los contaminantes en los sedimentos del EBSJ reflejan tanto los aportes históricos como los actuales de fuentes industriales, urbanas y municipales (Otero & Meléndez, 2011).

Estuario está liderando los esfuerzos para recopilar datos en el sistema. Desde 2008, el Proyecto de Monitoreo Voluntario de la Calidad del Agua de Estuario ha estado involucrando a los ciudadanos locales en el monitoreo de la calidad del agua. Además, el personal de Estuario recoge muestras para detectar enterococos fecales en las aguas estuarinas. Las muestras se analizan en los laboratorios internos de Estuario, y los resultados se publican semanalmente en su sitio web y cuentas de medios sociales a través de un mapa GIS (ver ejemplo en Figura 7). Este esfuerzo comenzó en 2014 con la Reserva Natural Laguna del Condado y se extendió después del huracán María a la costa norte del área de estudio de Estuario y al muestreo semanal (Estuario, 2025).

Las actividades de monitoreo actuales proporcionan formas para que los ciudadanos participen en la recopilación de datos y accedan a los resultados de manera oportuna utilizando mapas GIS. Los datos recopilados se pueden utilizar también en modelos para evaluar los cambios en la calidad del agua dentro del estuario y los principales tributarios, en respuesta a los cambios dentro de la cuenca. La ampliación de los esfuerzos de recogido de datos para controlar otros parámetros y en lugares adicionales proporcionará un conjunto de datos más sólido para la cartografía, la modelización, la toma de decisiones y la divulgación pública. El monitoreo de sedimentos ha revelado concentraciones elevadas de metales pesados, incluyendo plomo, mercurio y cadmio, en múltiples lugares, lo que plantea riesgos potenciales de toxicidad para los organismos bentónicos y riesgos a través de la bioacumulación (Otero y Meléndez, 2011). Además, los contaminantes orgánicos y los niveles de nutrientes en los sedimentos contribuyen a la degradación de la calidad de los sedimentos y exacerban los procesos de eutrofización en el estuario (Otero & Meléndez, 2011).

Estuario convocó a socios potenciales e identificó la necesidad de esfuerzos colaborativos de monitoreo regional para desarrollar una iniciativa de monitoreo de la calidad del agua a escala de cuenca para establecer condiciones de referencia y documentar el impacto de los proyectos de infraestructura a gran escala previstos. A través de esta red regional de seguimiento a la calidad del agua, conocida como el Colaborativo Regional de Monitoreo de Calidad del Agua, Estuario colabora con sus socios para llevar a cabo los objetivos de seguimiento de la calidad del agua. Este seguimiento ayudará a obtener financiamiento adicional para recopilar datos sobre la calidad del agua con mayor frecuencia y eficacia, garantizar la calidad y permitir una rápida interpretación e información de las medidas correctivas. Además, los esfuerzos

colaborativos de seguimiento proporcionarán más visibilidad y harán que los datos sean más accesibles para que los diferentes sectores puedan establecer tendencias y tomar decisiones con base científica. La integración de los datos de contaminantes sedimentarios con la calidad del agua y los indicadores biológicos proporciona una comprensión global de las condiciones estuarinas e informa las decisiones de manejo (Otero y Meléndez, 2011).



Figura7 . Ejemplo de resultados del control semanal de bacterias

Objetivos

- Medir la efectividad de las inversiones en infraestructura del agua basándose en datos medibles sobre la calidad del agua.
- Identificar y monitorear los cambios y las tendencias espaciales y temporales en la calidad del agua y en los recursos vivientes asociados a los cuerpos de agua.
- Fortalecer la comunicación del progreso en la restauración y conservación de la calidad del agua.

Acciones

WS-18 Continuar y fortalecer los esfuerzos de monitoreo de Estuario, incluyendo su componente de ciencia ciudadana, prestando especial atención al río Piedras, la quebrada Juan Méndez, la quebrada San Antón y sus tributarios.

Referencias

En 2008, Estuario creó el Proyecto de Monitoreo de Calidad del Agua, dirigido por voluntarios, para recolectar muestras de agua que se evalúan para 12 parámetros, incluyendo nutrientes (nitrógeno y fósforo), bacterias (coliformes fecales y enterococos), aceites y grasas, conductividad, pH, oxígeno disuelto y

2349 turbidez. Los datos se recolectan mensualmente en 26 estaciones a lo largo de 13 cuerpos de agua que
2350 representan los diversos sistemas acuáticos dentro de la cuenca (Lugo y Bauzá Ortega, 2024). Hasta la
2351 fecha, Estuario ha capacitado a más de 400 ciudadanos científicos para llevar a cabo este muestreo
2352 (Estuario, 2025).

2353 Estuario ha financiado también un proyecto de monitoreo que muestrea 32 salidas de drenaje, incluyendo
2354 19 subcuencas de la cuenca del EBSJ y 13 del Río Grande de Loíza debajo de la presa, a través de cerca de
2355 200 estaciones de monitoreo. El proyecto se centra en el muestreo de nutrientes para identificar las
2356 ubicaciones de las descargas de aguas sanitarias. Los resultados de las muestras se clasifican como buenos,
2357 moderados, enriquecidos, deteriorados y críticos. Los casos deteriorados y críticos indican una descarga
2358 sanitaria importante en curso. Los puntos críticos, que son zonas con altas concentraciones de
2359 contaminantes, se han identificado en los siguientes lugares: Urb. Villas de Loíza (Calle 40); centro de
2360 Canóvanas; aguas abajo del Hipódromo Camarero, Canóvanas; PR-951-Loíza; centro de Carolina; Urb.
2361 Rolling Hills, Carolina; Urb. Country Club y Villas de Country Club, Carolina; Urb. Country Club, calle Neblin
2362 en San Juan; Urb. Colinas de Cupey, San Juan; Urb. Santa Rita, San Juan; Plaza Caparra, avenida Roosevelt,
2363 Guaynabo; Banco Popular-Triple S, estacionamiento de la avenida Roosevelt, San Juan; Urb. Torrimar,
2364 Guaynabo; avenida San Patricio; Cuartel General de la Policía, Puerto Nuevo; Urb. Reparto Metropolitano,
2365 San Juan (Martínez Rodríguez, 2024). Estas son áreas críticas que deben ser atendidas para reducir las
2366 descargas de aguas sanitarias.

2367 La investigación científica es una de las partes más importantes de los esfuerzos de monitoreo de Estuario.
2368 Es importante que los resultados del monitoreo y los estudios se difundan para que las agencias, los
2369 municipios y los ciudadanos cuenten con la información para la toma de decisiones. Actualmente, Estuario
2370 proporciona resultados a través de datos de mapas georreferenciados en el sitio web de Estuario, medios
2371 de comunicación social, publicaciones impresas y electrónicas del Informe sobre el Estado del EBSJ, tarjeta
2372 de informe de cuerpos de agua, manual para voluntarios sobre monitoreo de la calidad del agua, talleres
2373 para la certificación de voluntarios y una cumbre sobre el estado del EBSJ.

2374 Estuario desarrollará un panel de datos (*dashboard*) para apoyar la recopilación, evaluación y presentación
2375 de datos al público. El tablero de datos proporcionará más visibilidad a los diferentes sectores y permitirá
2376 tomar decisiones con base científica.

2377 **Actividades**

Actividad	Métricas de cumplimiento	Metas	Parte(s) interesada(s) y socio(s) responsable(s)	Estatus	Periodo de tiempo	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Continuar apoyando el Programa de Monitoreo de Calidad del Agua dirigido por voluntarios y buscar oportunidades para ampliarlo.	Aumentar el número de voluntarios y los datos sobre la calidad del agua recogidos.	Aumentar el número de voluntarios y los datos recogidos.	Líder: Estuario Socios ejecutivos: USEPA, DRNA, organizaciones comunitarias	En curso	0-2 años	A determinarse	USEPA, municipios

Actividad	Métricas de cumplimiento	Metas	Parte(s) interesada(s) y socio(s) responsable(s)	Estatus	Periodo de tiempo	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
2. Desarrollar, mantener y actualizar el panel de datos	Datos sobre la calidad del agua de fácil acceso para uso público.	El panel aumentará la visibilidad de los datos.	Líder: Estuario	Pendiente	0-2 años	A determinarse	USEPA
3. Continuar publicando datos en el sitio web de Estuario para poner los datos a disposición del público.	Datos de calidad del agua fácilmente accesibles para uso público.	Datos fácilmente accesibles.	Líder: Estuario	En curso	0-2 años	A determinarse	USEPA
4. Continuar proporcionando el Informe sobre el estado del EBSJ	Datos sobre la calidad del agua fácilmente accesibles para uso público.	Datos fácilmente accesibles.	Líder: Estuario Socios ejecutivos: USEPA, DRNA, organizaciones comunitarias	En curso	0-2 años	A determinarse	USEPA, municipios
5. Continuar dirigiendo el Colaborativo.	Continuación de los datos del Colaborativo.	Liderazgo del Colaborativo.	Líder: Estuario	En curso	0-2 años	A determinarse	USEPA

2378 **Requisitos reglamentarios y de política pública**

2379 Ninguno.

2380 ****NUEVA-1* Elaborar un plan global de seguimiento de los indicadores medioambientales.***

2381 **Referencias**

2382 Es importante asegurar que el monitoreo, mapeo y modelaje estén coordinados en todo el sistema del EBSJ
2383 para proporcionar información sobre la calidad del agua, la calidad del sedimento del fondo y las
2384 condiciones biológicas. Como parte de la revisión del Plan del Estuario, se desarrollará un plan de
2385 seguimiento exhaustivo. Este plan delineará un enfoque para rastrear los cambios dentro de la cuenca y la
2386 eficacia de las acciones del plan. El plan de seguimiento incluirá los objetivos, la descripción de los datos
2387 recogidos, las partes interesadas responsables, la frecuencia del recogido de datos y la elaboración de
2388 informes, el intercambio y uso de datos, los principales vacíos de información y el financiamiento adicional
2389 necesario para obtener esa información. El plan discutirá también cómo ha cambiado o cambiará el
2390 monitoreo para proporcionar los datos necesarios para las acciones modificadas y nuevas del Plan del
2391 Estuario. Se harán recomendaciones sobre modificaciones y aportaciones al monitoreo existente en el
2392 sistema para seguir mejor los indicadores ambientales clave para los parámetros físicos, biológicos y
2393 químicos.

2394 Para evaluar la eficacia de las acciones del Plan, Estuario desarrolló el Índice de Indicadores Ambientales
2395 (IIA) basado en indicadores hidrológicos (calidad del agua) y ecológicos (recursos vivos). El IIA indica el
2396 estado y las tendencias de las condiciones ambientales y de salud de los ecosistemas del EBSJ y la dinámica
2397 ecológica de la cuenca. Además, el IIE condensa las observaciones de los recursos vivos para comunicar las
2398 condiciones y ayuda a destilar información compleja procedente de múltiples fuentes. Este índice
2399 proporciona información que puede ayudar a ver el progreso general hacia los objetivos de restauración. El

2400 IIE se basa en las observaciones bióticas sobre el terreno y el seguimiento de los datos de calidad del agua,
2401 la evaluación de los macroinvertebrados bentónicos, el censo de la población de peces y el porcentaje de
2402 cobertura de las praderas marinas. Bajo esta actividad, Estuario continuará calculando el IIE de acuerdo con
2403 el Plan de Control de Calidad del Proyecto (QAPP, por sus siglas en inglés) para el Monitoreo de Indicadores
2404 Ambientales aprobado por la USEPA.

2405 **Actividades**

Actividad	Métricas de cumplimiento	Metas	Parte(s) interesada(s) y socio(s) responsable(s)	Estatus	Periodo de tiempo	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Identificar lagunas y oportunidades para proporcionar una red de seguimiento más completa para el sistema del EBSJ.	Llenar las lagunas de seguimiento para mejorar el conocimiento del sistema del EBSJ.	Se atenderán los vacíos de información de seguimiento.	Líder: Estuario Socios ejecutivos: USEPA, DRNA, municipios, academia, organizaciones de investigación	Pendiente	0-2 años	A determinar se	USEPA, DRNA, municipios, academia, organizaciones de investigación
2. Continuar el desarrollo e implantación del Índice de Indicadores Ambientales.	Mejor información a través del Índice de Indicadores Ambientales.	Actualización del Índice de Indicadores Ambientales.	Líder: Estuario Socios ejecutivos: DRNA, USEPA, municipios, academia	En curso	0-2 años	A determinar se	USEPA, DRNA, municipios, academia, organizaciones de investigación
3. Determinar las partes interesadas responsables y las funciones adecuadas para la supervisión y el intercambio de datos.	Esfuerzo coordinado para recopilar y difundir datos.	Se mejorará el monitoreo y el intercambio de datos.	Líder: Estuario Socios ejecutivos: USEPA, DRNA, municipios, instituciones académicas, organizaciones de investigación	Pendiente	0-2 años	A determinar se	USEPA, DRNA, municipios, academia, organizaciones de investigación
4. Preparar el Plan de Monitoreo del Plan del Estuario y compartirlo con los interesados en el monitoreo.	Plan que provea una red de monitoreo y comunicación de datos más robusta.	Completar el Plan de Monitoreo.	Líder: Estuario Socios ejecutivos: USEPA, DRNA, municipios, academia, organizaciones de investigación	Pendiente	3-5 años	A determinar se	USEPA

2406 **Requisitos reglamentarios y de política pública**

2407 Ninguno.

2408 ****NUEVA-2* Establecer un esfuerzo de monitoreo e investigación sobre la ocurrencia y riesgo potencial de contaminantes***
2409 ***de preocupación emergente en el sistema del EBSJ.***

2410 **Referencias**

2411 El EBSJ es un recurso ecológico vital que se enfrenta a amenazas significativas de diversos contaminantes de
2412 preocupación emergentes (CEC, por sus siglas en inglés). Estos contaminantes, que incluyen productos
2413 farmacéuticos, productos de cuidado personal y hormonas, se han detectado con una frecuencia alarmante
2414 en el medioambiente estuarino (Rodríguez-Sierra et al., 2025). La necesidad de un esfuerzo integral de

monitoreo e investigación es imperativa para evaluar cuándo ocurre la descarga de estos contaminantes y evaluar sus riesgos potenciales para la vida acuática y la salud humana.

Un esfuerzo robusto de monitoreo debe establecer una red de estaciones a lo largo del EBSJ para recolectar datos sobre la presencia y concentración de CEC. Este enfoque sistemático ayudará a identificar los puntos críticos y las tendencias, proporcionando información crucial para un manejo eficaz.

Además del seguimiento, el componente de investigación debería centrarse en comprender las fuentes y vías de entrada de las CEC en el estuario. Es vital investigar el papel de las instalaciones de tratamiento de aguas sanitarias, la escorrentía de aguas pluviales y las descargas ilícitas. Si los sistemas existentes resultan inadecuados, el esfuerzo puede abogar por tecnologías de tratamiento avanzadas que reduzcan eficazmente las concentraciones de CEC.

El compromiso de la comunidad es otro aspecto importante del esfuerzo. Involucrar a los residentes locales, las escuelas y la academia, las organizaciones gubernamentales y las partes interesadas locales en la recopilación de datos y las iniciativas educativas fomenta la gestión y sentido de responsabilidad con el estuario. La participación comunitaria aumenta la eficacia del esfuerzo y capacita a los ciudadanos para participar activamente en la protección del medioambiente.

Además, el esfuerzo debe hacer énfasis en el análisis de datos y la evaluación de riesgos. Comprender los impactos ecológicos y sobre la salud humana de las CEC es crucial para desarrollar estrategias de manejo eficaces. La realización de evaluaciones de riesgos ecológicos ayudará a evaluar los efectos específicos de las CEC sobre los organismos acuáticos y el ecosistema en general, informando las decisiones reguladoras y priorizando las acciones para mitigar las consecuencias.

Actividades

Actividad	Métricas de cumplimiento	Metas	Parte(s) interesada(s) y socio(s) responsable(s)	Estatus	Periodo de tiempo	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Desarrollar un marco de seguimiento para facilitar la evaluación de las concentraciones, fuentes y tendencias de CEC a lo largo del tiempo.	Recogido exhaustivo de datos sobre concentraciones de CEC e identificación de tendencias.	Informe anual que resuma los datos sobre CEC con recomendaciones sobre medidas de manejo.	Líder: DRNA USEPA Socios ejecutivos: DTOP, AAA, utilidades privadas, academia, Estuario	Pendiente	3-5 años	A determinarse	DRNA, USEPA
2. Realizar análisis de datos para evaluar los riesgos ecológicos de las CEC.	Evaluación de los riesgos que suponen las CEC para las especies y los ecosistemas del EBSJ.	Crear evaluaciones de riesgo de especies clave en el EBSJ.	Líder: DRNA Socios ejecutivos: DTOP, USEPA, AAA, utilidades privadas, academia	Pendiente	0-2 años	A determinarse	DRNA, USEPA

Actividad	Métricas de cumplimiento	Metas	Parte(s) interesada(s) y socio(s) responsable(s)	Estatus	Periodo de tiempo	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
3. Utilizar los datos y la información recopilada para fundamentar el desarrollo de políticas relativas a las CEC.	Desarrollo de políticas y reglamentos informados que aborden el manejo de las CEC.	Facilitación de reuniones con las partes interesadas para recabar su opinión sobre la elaboración de políticas.	Líder: DRNA Socios ejecutivos: DTOP, USEPA, AAA, utilidades privadas, academia, Estuario	Pendiente	3-5 años	A determinarse	DRNA, USEPA

2436 **Requisitos reglamentarios y de política pública**

2437 Actualización de las políticas y reglamentación locales para reconocer los peligros de los CEC en el sistema

2438 estuarino y apoyar su regulación y entrada en la cuenca.

2439 ****NUEVA-3* Desarrollar una plataforma predictiva para la detección temprana de floraciones de algas nocivas.***

2440 **Referencias**

2441 Las HAB son el rápido crecimiento en el agua de algas o cianobacterias perjudiciales para las personas, los

2442 organismos o el medioambiente (Centers for Disease Control and Prevention [CDC], 2024). Un aumento de

2443 los nutrientes en los cuerpos de agua puede alimentar a las algas, provocando su rápido crecimiento en una

2444 floración. Algunas floraciones producen toxinas y agotan el oxígeno del agua cuando mueren, lo que puede

2445 provocar la muerte de peces y otra fauna silvestre. Por lo tanto, reducir la aparición de las HAB es una

2446 medida importante para la salud del sistema del EBSJ.

2447 En 2013, se completó un estudio para evaluar las vulnerabilidades del sistema del EBSJ a las condiciones

2448 cambiantes. A través del estudio se constató que es probable que las floraciones de algas nocivas se

2449 propaguen en el sistema del estuario en un plazo de 15 a 30 años (Jacobs y Pérez, 2013). Para reducir el

2450 surgimiento de las HAB, se pueden desarrollar medidas de protección y un sistema de detección temprana.

2451 Estas medidas requieren un enfoque integrado que incluya un método adecuado de evaluación del riesgo

2452 específico del sistema, el desarrollo de sistemas de alerta temprana, modelos de previsión y estrategias de

2453 mitigación a nivel de ecosistema. La previsión de las floraciones de algas nocivas es compleja y requiere un

2454 conjunto de datos sólido que proporcione información suficiente para modelizar y predecir las floraciones.

2455 La escasez de datos sobre estuarios tropicales representa un reto para el desarrollo de herramientas de

2456 predicción de las HAB para el sistema del EBSJ y estuarios similares.

2457 Para modelizar y predecir con éxito las HAB, se necesitan datos sobre variables climáticas y

2458 medioambientales (por ejemplo, temperatura atmosférica, viento, radiación solar), hidrodinámicas (por

2459 ejemplo, niveles de agua, salinidad, temperatura del agua, estratificación de la columna), calidad del agua

2460 (por ejemplo, aporte de nutrientes, profundidad fótica, pH, oxígeno disuelto) y estructura de la comunidad

2461 fitoplanctónica (por ejemplo, composición de las especies, competencia entre especies y efectos del

2462 pastoreo). Será necesario recopilar información adicional e identificar y desarrollar una herramienta de

2463 predicción adecuada para el sistema del EBSJ.

2464 **Actividades**

Actividad	Métricas de cumplimiento	Metas	Parte(s) interesada(s) y socio(s) responsable(s)	Estatus	Periodo de tiempo	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Determinar las lagunas existentes y las posibilidades de colmarlas a fin de reunir la información necesaria para predecir mejor las floraciones de algas nocivas.	Atender los vacíos de información en el monitoreo para predecir mejor las HAB.	Se obtienen los datos necesarios sobre las HAB.	Líderes: USEPA, DRNA Socios ejecutivos: municipios, academia, organizaciones de investigación.	Pendiente	0-2 años	A determinarse	USEPA, DRNA
2. Determinar una plataforma de modelización de HAB adecuada y desarrollar la herramienta utilizando los datos disponibles.	Implementación de un modelo HAB.	Modelo HAB actualizado.	Líderes: USEPA, DRNA Socios ejecutivos: municipios, academia, organizaciones de investigación	Pendiente	0-2 años	A determinarse	USEPA, DRNA
3. Proporcionar la plataforma de modelización de HAB como herramienta de coordinación y colaboración para reducir las HAB mediante la mejora de las condiciones de las cuencas hidrográficas y los estuarios.	Herramienta para gestionar mejor las condiciones de las cuencas hidrográficas y los estuarios a fin de reducir las HAB.	Reducción de las HAB gracias a un mejor manejo.	Líder: Estuario Socios ejecutivos: USEPA, DRNA, municipios, academia, organizaciones de investigación.	Pendiente	3-5 años	A determinarse	USEPA, DRNA

2465 **Requisitos reglamentarios y de política pública**

2466 Ninguno.

2467 **Referencias**

2468 CDC. 2024. Las floraciones de algas nocivas y su salud. Consultado en: <https://www.cdc.gov/harmful-algal-blooms/about/index.html>.

2470 Estuario. 2025. Calidad del Agua. Consultado en: <https://estuario.org/water-quality/>.

2471 Jacobs, K.R. y Pérez, A.I. 2013. Evaluación de las vulnerabilidades al cambio climático del Programa del Estuario de la Bahía de San Juan. Preparado para Climate Ready Estuaries, USEPA y Estuario.

2473 Lugo, A.E. y J.F. Bauzá Ortega. 2024. Estuario de la Bahía de San Juan: Historia y Oportunidades de Investigación. EPA/600/R-23/308.

2475 Martínez Rodríguez, G.A. 2024. Implantación de una Estrategia de Restauración de la Calidad del Agua en el Estuario de la Bahía de San Juan y la Zona Tributaria del Estuario del Río Grande de Loíza (Debajo de la Represa) (Fase II), Informe de Progreso que comprende el período del 1 de noviembre de 2019 al 30 de

2478 septiembre de 2024. Preparado para la Corporación para la Conservación del Estuario de la Bahía de San
2479 *Juan EBSJ Contrato Número C-72-250-03*.

2480 Otero, E., Meléndez, A. 2011. Indicadores Ambientales Estuarinos para el Estuario de la Bahía de San Juan:
2481 Evaluación de Contaminantes en Sedimentos y Tejidos de Peces. [https://estuario.org/wp-](https://estuario.org/wp-content/uploads/2021/02/EBSJ_Contamination_Assessment_Report_2011-compressed.pdf)
2482 [content/uploads/2021/02/EBSJ_Contamination_Assessment_Report_2011-compressed.pdf](https://estuario.org/wp-content/uploads/2021/02/EBSJ_Contamination_Assessment_Report_2011-compressed.pdf).

2483 Rodríguez-Sierra, C.J., Mansilla-Rivera, I., y Bauzá-Ortega, J.F. 2025. Muestreo pasivo de contaminantes de
2484 preocupación emergente en un estuario urbano caribeño de Puerto Rico. *Boletín de contaminación marina*,
2485 213, 117674.

Impactos a la calidad del agua provenientes de fuentes fuera del área de estudio actual

Base científica

Antes y durante el desarrollo de esta revisión del Plan del Estuario, la Conferencia de Manejo del Estuario y la Junta de Directores identificaron la necesidad de comprender mejor todas las fuentes de impacto al sistema del EBSJ. Aunque el área de estudio actual de Estuario abarca las áreas inmediatamente adyacentes al estuario, actualmente se excluyen las cuencas asociadas con los principales ríos y quebradas (Río Grande de Loíza, río Bayamón y sus tributarios) que desembocan en el estuario.

La descarga del Río Grande de Loíza llega a Boca de Cangrejos durante las inundaciones extremas y afecta a las poblaciones de manglares desde Vacía Talega hacia el oeste. El río Bayamón fue desviado del estuario; sin embargo, algunos de sus tributarios aún fluyen hacia el sistema estuarino (Lugo y Bauzá Ortega, 2024). La conexión entre estas áreas y el estuario, así como los efectos de las fuentes contaminantes en estas cuencas hidrográficas sobre el estuario no se entienden completamente. Por lo tanto, se necesitan más estudios, monitoreo y coordinación con los municipios para determinar si el límite programático de Estuario debe ampliarse en una futura revisión del plan.

Figura 8 muestra el área de estudio ampliada que se investigará como parte de esta revisión del Plan del Estuario. El área de estudio ampliada incluye aproximadamente 1,833 kilómetros cuadrados de cuenca y abarca la totalidad o partes de 29 municipios, en comparación con el área de estudio actual de aproximadamente 221 kilómetros cuadrados y ocho municipios. Además, esta área de estudio ampliada elimina el límite norte actual para incluir los sistemas costeros que están influidos por actividades terrestres e interactúan con el estuario.

El objetivo de la ampliación de los límites programáticos es proporcionar un enfoque más completo del manejo del sistema del EBSJ, su cuenca hidrográfica y las vías fluviales conectadas. Esta ampliación brindará también la oportunidad de influir mejor en la aplicación de la regulación y los requisitos reglamentarios en beneficio del estuario.



Figura 8 . Límites actuales del área de estudio del estuario y área ampliada para la evaluación

Objetivos

- Determinar el posible impacto al sistema estuarino por fuentes de contaminación puntuales y dispersas provenientes de regiones fuera del área de estudio actual.

Acciones

NUEVA-1 Determinar las zonas de mayor descarga de aguas sanitarias en el área de estudio ampliada.

Referencias

Estuario y sus socios han completado los esfuerzos para identificar las áreas de mayor descarga de aguas sanitarias dentro del área de estudio actual y están trabajando para reducir los efectos de esas descargas. El área de estudio ampliada incluye otras descargas de aguas sanitarias que no se han identificado ni evaluado por completo. La realización de un esfuerzo de evaluación de las descargas de aguas sanitarias en el área de estudio ampliada proporcionará información valiosa para ofrecer una imagen completa de las descargas de aguas sanitarias y de los lugares clave donde se necesitan proyectos para reducir las consecuencias de estas descargas en el sistema del EBSJ más amplio.

2525 **Actividades**

Actividad	Métricas de cumplimiento	Metas	Parte(s) interesada(s) y socio(s) responsable(s)	Estatus	Periodo de tiempo	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Establecer y aplicar protocolos de investigación para identificar la ubicación de las descargas de aguas sanitarias en el área de estudio ampliada.	Información mejorada sobre la ubicación de las descargas de aguas sanitarias.	Protocolo de identificación de las descargas de aguas sanitarias.	Líder: Estuario Socios ejecutivos: Comunidad científica, academia, municipios, DRNA	Pendiente	0-2 años	A determinar se	Academia, municipios, DRNA
2. Evaluar los problemas de salud pública en las áreas con mayores descargas de aguas sanitarias en el área de estudio expandida.	Información sobre las mayores descargas de aguas sanitarias en el área de estudio expandida.	Datos sobre las mayores descargas de aguas sanitarias.	Líder: Estuario Socios ejecutivos: Comunidad científica, academia, municipios, DRNA	Pendiente	3-5 años	A determinar se	Academia, municipios, DRNA
3. Elaborar mapas que muestren los resultados del análisis de descargas de aguas sanitarias en el área de estudio ampliada.	Información mejorada sobre la ubicación de las descargas de aguas sanitarias.	Mapas que muestren las ubicaciones de las descargas de aguas sanitarias	Líder: Estuario Socios ejecutivos: Comunidad científica, academia, municipios, DRNA	Pendiente	3-5 años	A determinar se	Academia, municipios, DRNA
4. Utilizar los resultados del estudio para identificar proyectos que eliminen las descargas de aguas sanitarias en el área de estudio ampliada.	Plan para reducir el número de descargas de aguas sanitarias.	Lista de proyectos para eliminar las descargas de aguas sanitarias de mayor impacto.	Líder: DRNA Socios ejecutivos: municipios, empresas de servicios públicos	Pendiente	5+ años	A determinar se	USEPA, Fondo Rotatorio Estatal, DRNA, municipios, servicios públicos

2526 **Requisitos reglamentarios y de política pública**

2527 Ninguno para el estudio. Los resultados ayudarán a informar sobre las necesidades normativas y de política
2528 pública en el futuro.

2529 ****NUEVA-2* Evaluar los sistemas sépticos y las fuentes de agua subterránea en el área de estudio ampliada.***

2530 **Referencias**

2531 Las zonas de toda la cuenca del EBSJ, incluidas las cuencas tributarias del área de estudio ampliada, no
2532 disponen de sistemas centralizados de recogido y tratamiento de aguas sanitarias y deben recurrir a
2533 sistemas sépticos. Los sistemas sépticos tradicionales proporcionan poco tratamiento de nutrientes y los
2534 sistemas sépticos defectuosos pueden proporcionar poco o ningún tratamiento de patógenos. Los datos
2535 son limitados con respecto a las áreas de mayor preocupación para los contaminantes de los sistemas
2536 sépticos en el área de estudio ampliada; por lo tanto, se necesitan investigaciones que arrojen datos para
2537 informar los próximos pasos para reducir las fuentes identificadas.

2538 En 2019, Estuario encargó un estudio para comprender mejor los impactos de los desbordamientos de los
2539 sistemas sépticos en las comunidades de Juana Matos y Puente Blanco en Cataño. Estas comunidades se
2540 encuentran en una zona baja cerca de la Reserva Natural Ciénaga Las Cucharillas, y las inundaciones en
2541 estas comunidades duraron una semana después del huracán María. El estudio de Estuario incluyó tanto
2542 una evaluación del estado de los sistemas sépticos como un proceso de limpieza de la devastación que dejó
2543 el huracán María (Ramírez, 2019). Una investigación similar en el área de estudio ampliada ayudará a
2544 comprender las condiciones de los sistemas sépticos y las descargas a las aguas subterráneas, así como
2545 para determinar proyectos para atender estos problemas.

2546 **Actividades**

Actividad	Métricas de cumplimiento	Metas	Parte(s) interesada(s) y socio(s) responsable(s)	Estatus	Periodo de tiempo	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Establecer y aplicar protocolos de investigación para identificar las fugas de los sistemas sépticos y la contaminación de las aguas subterráneas en el área de estudio ampliada.	Mejora de la información sobre ubicaciones de contaminación de sistemas sépticos y aguas subterráneas.	Protocolo de identificación de los puntos de contaminación de los sistemas sépticos y las aguas subterráneas.	Líder: Estuario Socios ejecutivos: Comunidad científica, academia, municipios, DRNA	Pendiente	0-2 años	A determinarse	Academia, municipios, DRNA
2. Desarrollar e implementar un estudio para recopilar datos sobre fuentes y contaminantes de sistemas sépticos y aguas subterráneas en el área de estudio ampliada.	Información sobre contaminantes y ubicaciones de sistemas sépticos y aguas subterráneas en el área de estudio ampliada.	Estudio para identificar fuentes de sistemas sépticos y aguas subterráneas.	Líder: Estuario Socios ejecutivos: DRNA, comunidad científica, academia	Pendiente	0-2 años	A determinarse	DRNA, USEPA
3. Desarrollar mapas que muestren las áreas con la mayor descarga de contaminantes de sistemas sépticos y fuentes de agua subterránea en el área de estudio expandida.	Información mejorada sobre las fuentes de sistemas sépticos y aguas subterráneas con las mayores descargas de contaminantes.	Mapas que muestren las ubicaciones de las descargas de los sistemas sépticos y las fuentes de aguas subterráneas.	Líder: Estuario Socios ejecutivos: comunidad científica, academia, municipios, servicios públicos, industria.	Pendiente	3-5 años	A determinarse	DRNA, USEPA

Actividad	Métricas de cumplimiento	Metas	Parte(s) interesada(s) y socio(s) responsable(s)	Estatus	Periodo de tiempo	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
4. Utilizar los resultados del estudio para identificar proyectos que mejoren el manejo de los sistemas sépticos y las aguas subterráneas en el área de estudio ampliada.	Planificar para atender las fuentes de aguas sanitarias con las mayores descargas de contaminantes.	Plan con ubicaciones de puntos conflictivos y proyectos potenciales.	Líder: DRNA Socios ejecutivos: municipios, empresas de servicios públicos	Pendiente	5+ años	A determinarse	USEPA, DRNA, Fondo Rotatorio Estatal, municipios

2547 **Requisitos reglamentarios y de política pública**

2548 Ninguno para el estudio. Los resultados ayudarán a informar sobre las necesidades reglamentarias y de

2549 política pública en el futuro.

2550 ****NUEVA-3*** Investigar las fuentes de aguas pluviales urbanas y agrícolas en el área de estudio ampliada.*

2551 **Referencias**

2552 Mientras que los problemas de manejo de aguas pluviales dentro del área de estudio actual de Estuario

2553 están bien documentados en lugares prioritarios, hay menos información disponible en el área de estudio

2554 ampliada. La cuenca ampliada es más rural, lo que resulta en fuentes más difusas de escorrentía de aguas

2555 pluviales y mayores descargas de la agricultura. Además, el Río Grande de Loíza y el río Bayamón, que se

2556 encuentran a lo largo de la porción oriental y occidental de los límites del área de estudio actual,

2557 respectivamente, aportan agua al estuario durante eventos extremos de escorrentía, añadiendo un área

2558 mayor de escorrentía de aguas pluviales y carga adicional al sistema del EBSJ (Villanueva et al., 2000).

2559 Conocer las fuentes de aguas pluviales y su contribución, tanto en términos de cargas contaminantes como

2560 de volúmenes de escorrentía, ayudará a fundamentar futuras decisiones de manejo en el área de estudio

2561 ampliada.

2562 **Actividades**

Actividad	Métricas de cumplimiento	Metas	Parte(s) interesada(s) y socio(s) responsable(s)	Estatus	Periodo de tiempo	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Desarrollar e implementar un estudio para recopilar datos sobre fuentes de aguas pluviales en el área de estudio ampliada.	Información sobre contaminantes, volúmenes y ubicaciones de las aguas pluviales en el área de estudio ampliada.	Estudio para identificar las fuentes de aguas pluviales.	Líder: Estuario Socios ejecutivos: Comunidad científica, academia, municipios, propietarios de fincas agrícolas, DRNA, PRDA, USDA	Pendiente	0-2 años	A determinarse	USEPA, DRNA, USDA

Actividad	Métricas de cumplimiento	Metas	Parte(s) interesada(s) y socio(s) responsable(s)	Estatus	Periodo de tiempo	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
2. Elaborar mapas que muestren los resultados de la evaluación de las aguas pluviales en el área de estudio ampliada.	Información mejorada sobre las zonas con mayor concentraciones de contaminantes procedentes de las aguas pluviales.	Mapas que muestren los lugares de descarga de las aguas pluviales.	Líder: Estuario Socios ejecutivos: comunidad científica, academia, municipios, propietarios de fincas agrícolas, DRNA, PRDA, USDA	Pendiente	3-5 años	A determinarse	USEPA, DRNA, USDA
3. Utilizar los resultados del estudio para identificar proyectos de manejo y tratamiento de aguas pluviales en el área de estudio ampliada.	Reducción de la carga contaminante y de volumen procedente de las fuentes de aguas pluviales en el área de estudio ampliada.	Lista de proyectos para reducir la contaminación de las aguas pluviales.	Líder: DRNA Socios ejecutivos: Municipios, propietarios de fincas agrícolas, DRNA, PRDA, USDA	Pendiente	5+ años	A determinarse	USEPA, DRNA, USDA, Fondo Rotatorio Estatal, municipios

2563 **Requisitos reglamentarios y de política pública**

2564 Ninguno para el estudio. Los resultados ayudarán a informar sobre las necesidades reglamentarias y

2565 políticas en el futuro.

2566 ****NUEVA-4* Estimar las aportaciones de agua al área de estudio ampliada.***

2567 **Referencias**

2568 Además de las fuentes potenciales de contaminantes dentro del área de estudio ampliada, el agua llega al

2569 área de estudio a través de fuentes externas. Por ejemplo, un superacueducto transporta unos 70 millones

2570 de galones diarios de agua dulce a San Juan, de los cuales aproximadamente el 57 % entra en la cuenca a

2571 través de tuberías de agua con fugas. Cerca del 80 % del agua utilizada por los clientes va al sistema de

2572 alcantarillado sanitario, donde es tratada en la planta regional de Puerto Nuevo y luego descargada al

2573 océano (Lugo y Bauzá Ortega, 2024). Otro ejemplo es la Planta de Filtración de Agua (PTA) Sergio Cuevas,

2574 que extrae agua del Río Grande de Loíza en la represa del barrio Carraízo de Trujillo Alto. La PTA es

2575 propiedad y está operada por la AAA y trata el agua cruda del lago Loíza (mejor conocido como el lago

2576 Carraízo) para proveer agua potable al área metropolitana de San Juan. La planta utiliza varios procesos de

2577 tratamiento, incluyendo aireación, coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección, antes

2578 de distribuir el agua (USEPA, 2019). Los sedimentos del Río Grande de Loíza producidos por la limpieza de

2579 los filtros de depuración descargan directamente en las quebradas Sabana Llana y San Antón, que conectan

2580 con la laguna San José. Actualmente, los sedimentos obstruyen la quebrada San Antón y colmatan la zona

2581 de conexión con la laguna San José. Además, todos los productos de filtración y químicos utilizados en la

2582 PTA Sergio Cuevas descargan en ambos cuerpos de agua.

2583 La carga adicional de contaminantes en el área de estudio ampliada asociada a estas fuentes de agua no se

2584 conoce bien y se requiere un estudio más profundo para evaluar los impactos y las posibles opciones de

2585 tratamiento.

2586 **Actividades**

Actividad	Métricas de cumplimiento	Metas	Parte(s) interesada(s) y socio(s) responsable(s)	Estatus	Periodo de tiempo	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Elaborar un estudio para recopilar datos sobre las concentraciones de nutrientes y contaminantes en las fuentes de agua que se introducen en el área de estudio ampliada.	Información sobre concentraciones de nutrientes y contaminantes en las fuentes de agua.	Estudio para identificar contaminantes en las fuentes de agua.	Líder: Estuario Socios ejecutivos: Comunidad científica, academia, AAA, DRNA	Pendiente	0-2 años	A determinarse	USEPA, DRNA, AAA
2. Identificar las concentraciones de nutrientes y contaminantes preocupantes en las fuentes de agua que se introducen en el área de estudio ampliada.	Datos sobre las concentraciones elevadas de nutrientes y contaminantes.	Contaminantes con concentraciones elevadas identificados.	Líder: Estuario Socios ejecutivos: Comunidad científica, academia, AAA, DRNA	Pendiente	3-5 años	A determinarse	USEPA, DRNA, AAA
3. Coordinar con la AAA los proyectos de tratamiento necesarios para reducir los contaminantes en las fuentes de agua que ingresan al área de estudio ampliada.	Reducción de las concentraciones de contaminantes que entran al área de estudio ampliada.	Reducir la contaminación de las fuentes de agua.	Líder: DRNA Socio ejecutivo: PRDA	Pendiente	5+ años	A determinarse	USEPA, DRNA, AAA, Fondo Rotatorio Estatal

2587 **Requisitos reglamentarios y de política pública**

2588 Ninguno para el estudio. Los resultados ayudarán a informar las necesidades reglamentarias y de política
2589 pública en el futuro.

2590 **Referencias**

2591 Lugo, A.E. y J.F. Bauzá Ortega. 2024. Estuario de la Bahía de San Juan: Historia de la investigación y
2592 oportunidades. EPA/600/R-23/308.

2593 Ramírez, J. E.; González, R.; y Garay, A. 2019. Iniciativa de Limpieza de Fosas Sépticas en las Comunidades de
2594 Cataño Juana Matos y Puente Blanco: Un Informe de Procedimiento. Preparado para el Programa Nacional
2595 del Estuario de la Bahía de San Juan.

2596 USEPA. 2019. Hoja informativa: Sistema Nacional de Eliminación de Descargas Contaminantes Vertedero
2597 Sergio Cuevas Permiso No. PR0022411. Región 2, División de Protección Ambiental del Caribe.

2598 Villanueva, E., L. J. Rivera Herrera, S. Rivera Colón, M. Tacher Roffe, C. Guerrero Pérez y C. Ortiz Gómez. 2000.
2599 Plan integral de conservación y manejo del estuario de la Bahía de San Juan. Programa del Estuario de la
2600 Bahía de San Juan, San Juan, PR.

1 **Maintain and Improve Aging and Failing Gray and Green Infrastructure that**
2 **Negatively Impacts Water and Bottom Sediment Quality**
3

4 [Note: Divider page with action plan title and nice picture]

Introduction

The San Juan Bay Estuary (SJBE) is a vital ecological and economic resource for Puerto Rico, yet it faces significant challenges due to aging and failing infrastructure. This action plan addresses the critical need to maintain and improve both gray and green infrastructure, which are essential for safeguarding and improve water and sediment quality and the health of the estuarine ecosystem.

Gray infrastructure refers to traditional, engineered systems such as sanitary sewer systems and stormwater drains designed to manage water flows and move wastewater away from urban areas through pipes and conduit. In contrast, green infrastructure encompasses natural systems and processes, such as wetlands and vegetated areas, to absorb, reduce, and manage stormwater while providing ecological benefits¹. Together, these infrastructures play a pivotal role in addressing the priority problems outlined in this action plan, including pollution, flooding, and public health risks.

Recognizing the interdependence of gray and green infrastructure, this action plan emphasizes the development of hybrid infrastructure solutions that integrate both approaches. By fostering collaboration between engineered systems and natural ecosystems, the resilience of water management strategies in the SJBE can be enhanced. A hybrid approach can improve water quality and promote ecosystem services, which are socially valued outputs of ecosystems dependent on self-regulating or managed ecosystem structures and processes². In the case of the SJBE, ecosystem services examples include flood mitigation, water purification, and habitat provision. Emphasizing the importance of hybrid infrastructure is crucial in the pursuit of sustainable solutions for the SJBE.

In the following sections, readers will encounter a comprehensive overview of the various types of infrastructure critical to the SJBE system, including wastewater treatment facilities, stormwater management systems, and best management practices. Each of these components works synergistically to enhance water quality and ecological health, underscoring the interconnected nature of the environmental challenges in the SJBE.

The baseline assessments highlighted in this action plan provide a foundation for understanding the current state of the SJBE's infrastructure and the urgency of intervention. Key takeaways reveal the pressing need for infrastructure upgrades, the impact of urbanization and extreme events, and the potential for innovative solutions that leverage both gray and green strategies.

¹ U.S. Environmental Protection Agency. 2017. Different Shades of Green: Green Infrastructure Research at the U.S. Environmental Protection Agency. Accessed at: https://19january2017snapshot.epa.gov/sites/production/files/2016-10/documents/green_infrastructure_brochure_final.pdf.

² U.S. Army Corps of Engineers. Using Information on Ecosystem Goods and Services in Corps Planning. September 2013. Accessed at: <https://www.iwr.usace.army.mil/Media/News-Stories/Article/481105/using-information-on-ecosystem-goods-and-services-in-corps-planning/>.

Sanitary Sewer Infrastructure

Baseline

Sanitary sewer infrastructure within the SJBE system is critical for maintaining water quality of natural and superficial waters and public health, yet it faces significant challenges. Aging systems and capacity limitations are compounded by vulnerabilities related to sea level rise and increased storm events and intensity. Effective wastewater management is essential to prevent pollution, protect aquatic habitats, and ensure residents have access to clean water.

Sanitary sewer systems in the SJBE have historically faced significant challenges. The Clean Water Act, enacted in 1972, established regulations to control the discharge of pollutants, but many industrial contaminants were previously released directly into waterways. The National Pollution Discharge Elimination System (NPDES) was established in 1987 to monitor compliance with water quality standards. Despite these regulatory frameworks, the current wastewater treatment systems, including the Carolina Regional, Bayamón Regional, and Puerto Nuevo Wastewater Treatment Systems, have a history of poor maintenance and frequent overflows. These systems, which collectively handle an average flow of 177 million gallons per day, are exempt from secondary treatment requirements under Section 301(h) of the Clean Water Act. This exemption allows for the discharge of primary-treated wastewater, which contains high nutrient concentrations, into the ocean, raising concerns about the health of the estuary. This exemption under Section 301(h) is due to Puerto Rico's unique geographic, economic and infrastructural challenges that make full secondary wastewater treatment difficult to achieve or maintain (U.S. Environmental Protection Agency [USEPA], 2011).

The communities of Cantera, Marina, Buena Vista, Israel, and Bitumul were established on the eastern banks of the Caño Martín Peña by filling its waters and wetlands with debris and other types of refuse (Sepúlveda-Rivera and Carbonell, 1988). This housing was developed without sanitary sewers, leading to the discharge of untreated sewage into improvised gutters or directly into the Caño Martín Peña. Similar conditions can be found in other communities within the SJBE system, including Juana Matos, Cucharillas, and Puente Blanco in Cataño; Palo Seco in Toa Baja; Vietnam and Amelia in Guaynabo; Playita, El Checo, Sierra Maestra, Villa Clemente, and Plebiscito 1, 2, and 3 in San Juan; and La Torre and Piñones in Loíza. In some areas, residents have built on-site septic systems to dispose of wastewater instead of discharging it directly into the estuary, its tributaries, or other related surface waters. However, the use of underground septic tanks is inappropriate in these low-lying areas, which are prone to flooding and seepage.

Low-lying coastal regions, including those within the SJBE, are particularly susceptible to sea level rise, which can lead to flooding and increased risks for subsurface infrastructure, including sanitary sewer systems. Groundwater levels can rise as sea levels increase, impacting the functionality of both centralized and decentralized systems. Over 40% of Puerto Rico's population relies on septic systems for domestic wastewater disposal, and these systems can contribute to water quality issues, especially when poorly maintained or located near waterbodies (USEPA, 2019). Communities such as Juana Matos and Puente Blanco are particularly vulnerable, facing risks from flooding that can lead to sewage overflow and contamination of local waterways.

71 The discharge of raw sewage into the SJBE presents a health risk to surrounding communities, estuary
72 users, and living resources (Estuario, 2000). Illicit discharges from unauthorized sources further complicate
73 water quality challenges in the SJBE. These discharges can originate from industrial activities, informal
74 systems, and stormwater runoff, complicating monitoring and enforcement efforts. Effective identification
75 and response to illicit discharges require collaboration among local agencies and community education and
76 involvement, which is often hampered by limited resources. As the population in the watershed continues
77 to grow and the existing wastewater infrastructure ages and becomes inadequate, there is a pressing need
78 to invest in new infrastructure and technology to provide reliable and higher levels of wastewater
79 treatment.

80 Public health impacts are a significant concern associated with inadequate wastewater management. The
81 state of sanitary sewer infrastructure directly affects the risk of waterborne diseases and other health
82 issues, particularly among vulnerable populations in the region. Strengthening sanitary sewer systems is
83 essential for safeguarding community health and ensuring access to clean water.

84 There are frameworks and plans in place to help address the current challenges associated with sanitary
85 sewer infrastructure. The consent decree between the Puerto Rico Aqueduct and Sewer Authority (PRASA)
86 and USEPA outlines specific actions to address deficiencies in its water treatment and distribution
87 processes, ensuring compliance with federal water quality standards. PRASA is also implementing an
88 extensive capital improvements program across the island, with 67 projects currently underway in the
89 Estuario study area. These projects range from replacing outdated pipes to rehabilitating entire sanitary
90 sewer systems.

91 Additionally, the Caño Martín Peña Comprehensive Infrastructure Master Plan represents a proactive
92 approach to addressing the unique challenges faced by communities around Caño Martín Peña. This plan
93 emphasizes community agency and incorporates extreme events risk analysis to develop strategies for
94 improving water quality and public health.

95 In summary, the sanitary sewer infrastructure in the SJBE watershed faces numerous challenges, including
96 aging systems, sea level rise and extreme events impacts, and public health risks. Addressing these
97 vulnerabilities requires a multifaceted and multisector approach that includes investment in infrastructure
98 upgrades, enhanced monitoring, enforcement, and community engagement.

99 In this regard, the SJBE Illegal Discharges Detection & Elimination Task Force (IDDE) Task Force is a working
100 group assembled in 2014 by the Estuario that meets periodically to discuss and implement solutions for the
101 elimination of illegal and unauthorized sewage discharges in the SJBE watershed. The IDDE Task Force
102 includes members from the state and federal environmental agencies, municipalities, academia, and
103 stakeholders.

104 After the IDDE Task Force was created in 2014, Estuario received a grant from the Puerto Rico
105 Environmental Quality Board (now DNER) through the State Revolving Funds and Section 319 of the Clean
106 Water Act to identify raw sewage and other pollutant discharges in the SJBE watershed. After a careful and
107 rigorous selection process, Estuario contracted the University of Puerto Rico's Agriculture Experimental
108 Station to perform the study. The study's findings are discussed through the IDDE Task Force; therefore, this
109 group became the platform to implement and monitor corrective actions.

Objectives

- Eliminate illicit discharges from sanitary sewer infrastructure.
- Optimize existing septic systems.

Actions

WS-01 Design and construct a sanitary sewer system for the communities fringing the eastern section of Caño Martín Peña.

Background

The communities bordering the eastern section of Caño Martín Peña—including Cantera, Marina, Buena Vista, Israel, and Bitumul—were developed without the construction of essential utilities such as sanitary sewer systems. As a result, residents have relied on improvised methods for wastewater disposal. This lack of proper sewage infrastructure has led to significant environmental and public health challenges.

During heavy rain and flood events, these communities experience inundation by a mixture of stormwater and raw sewage, which exacerbates the exposure of residents to harmful pathogens and contaminants. The combined flooding of sewage and stormwater not only contaminates homes and streets but also increases the risk of waterborne diseases and other health conditions. Table 1 below illustrates the elevated prevalence of certain health issues in the eastern Caño Martín Peña neighborhoods compared to the overall rates in Puerto Rico, highlighting the disproportionate impact on these vulnerable populations.

Table 1. Common Health Conditions Found in Eastern Caño Martín Peña Neighborhoods (from USACE, 2016)

Condition	Caño Martín Peña Prevalence	Puerto Rico Prevalence ¹	Eastern Caño Martín Peña Population	Existing Population Affected
Gastroenteritis	31%	21%	18,074	5,603
Asthma (children under 5 years old)	44.5%	22%	1,046	465
Dermatitis (children 5-9 years old)	35.3%	24.8%	958	338

Source: Ponce School of Medicine (2011); University of Puerto Rico, 2013.

The discharge of raw sewage into the SJBE, particularly through Caño Martín Peña, poses a significant health risk not only to the residents of the adjacent communities but also to estuary users and the broader ecosystem. Contaminated water quality undermines public health and diminishes the estuary’s capacity to support recreational activities such as fishing and boating, as well as economic opportunities dependent on a clean and safe environment.

Given the critical nature of these issues, the Caño Martín Peña has been identified by Estuario as a top priority area for intervention and restoration. Efforts to mitigate sewage pollution have been concentrated here due to the severity of contamination and its impact on public health and environmental quality. These initiatives include community engagement, environmental rehabilitation projects, and infrastructure development aimed at reducing untreated sewage discharges.

Importantly, the lessons learned from the ongoing restoration of Caño Martín Peña provide a valuable framework for addressing similar challenges in other communities along the SJBE that currently lack adequate sanitary sewer services. The successful implementation of sanitary sewer construction and wastewater management in Caño Martín Peña can serve as a model, guiding future projects to improve

143 water quality, protect public health, and foster sustainable development throughout the estuary's
 144 watershed.

145 **Activities**

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Implement the sanitary sewer improvements outlined in the Caño Martín Peña Infrastructure Master Plan.	Reduced pollutants to the SJBE system from sanitary sewer systems in these communities.	Add sanitary sewer systems for the communities along the Caño Martín Peña.	Lead: PRASA Implementing partners: Municipality of San Juan	On Track	5+ years	TBD	USEPA, State Revolving Fund, PRASA, Puerto Rico Department of Natural and Environmental Resources (DNER), municipalities, Federal Emergency Management Agency (FEMA), Community Development Block Grant (CDBG)
2. Use the Caño Martín Peña Infrastructure Master Plan to develop a sanitary sewer management plan for the Caño Martín Peña communities.	Identified priority areas for sanitary sewer infrastructure improvements and construction.	Identify priority areas for sanitary sewer infrastructure improvements.	Lead: PRASA Implementing partners: DNER, municipalities, academia, scientific community, community groups, Estuario	Pending	3-5 years	TBD	USEPA, DNER, municipalities, FEMA, CDBG
3. Implement the priority recommendations from the Caño Martín Peña Infrastructure Master Plan to improve water quality and system performance.	Water quality improvements.	Execute priority projects from the Caño Martín Peña Infrastructure Master Plan.	Lead: PRASA Implementing partners: DNER, municipalities, regulatory agencies	Pending	5+ years	TBD	State Revolving Fund, USEPA, PRASA, DNER, municipalities, FEMA, CDBG

146 **Regulatory and Policy Requirements**

147 Raw sewage discharges into surface waterbodies result in a violation of DNER's Water Quality Standards and
 148 the applicable provisions of the NPDES permits and their implementing regulations. A compliance plan must
 149 be developed, funded, and enforced.

WS-01 Design and construct a sanitary sewer system for areas that lack an adequate system.

Background

Several communities within the SJBE watershed, including Sector Jurutungo 1 and 2 in Hato Rey, Sector Buena Vista and Calles Los Pinos y Naguabo in Barrio Obrero, Sector Las Monjas in Hato Rey Centro, Sectores de Blanes Final, Sector Israel Bitumul, Sector Cayo Hueso, Buen Consejo, and municipalities such as Cataño and Loíza, are known to lack adequate sanitary sewer systems. These areas have historically developed with insufficient wastewater infrastructure, resulting in widespread reliance on septic systems, improvised disposal methods, or direct discharge of untreated or partially treated sewage into local waterways (USEPA, 2025).

The absence of proper sanitary sewer coverage in these densely populated sectors contributes significantly to the degradation of water quality within the SJBE and its tributaries. Untreated sewage discharges introduce high levels of nutrients, pathogens, and other pollutants, which harm aquatic ecosystems, threaten public health, and impair the potential for recreational and economic activities (USACE, 2016; Ponce School of Medicine, 2011). Moreover, inadequate wastewater infrastructure exacerbates flooding and sanitary hazards, particularly during heavy rain events, disproportionately affecting vulnerable low-income communities.

Addressing these infrastructure gaps is essential to improving environmental conditions and health outcomes across the SJBE watershed. Designing and constructing new sanitary sewer systems tailored to the specific needs of these underserved areas will reduce pollutant loads, enhance resilience to flooding, and support sustainable community development. Effective interventions require comprehensive needs assessments, community engagement to ensure systems meet local requirements and encourage proper use, and securing funding and partnerships for long-term operation and maintenance.

This action aligns with regional water quality goals and the broader mission of Estuario to restore and protect the estuary's health by targeting critical sources of pollution and infrastructural deficiencies. Implementing sanitary sewer systems in these priority sectors will create measurable environmental and social benefits across the watershed.

Activities

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Conduct a needs assessment to identify additional areas that currently lack sanitary sewer systems.	Completion of a needs assessment report identifying areas without sanitary sewer coverage.	Complete assessment	Lead: PRASA Implementing partners: DNER, scientific community, municipalities, Estuario	Pending	0-2 years	TBD	USEPA, DNER, municipalities

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
2. Engage communities in the design process to meet needs and encourage proper use.	Number of community engagement sessions held and level of participant involvement in the design process.	Conduct engagement sessions to address community needs.	Lead: Estuario Implementing partners: DNER, PRASA, scientific community, municipalities, community groups, Estuario	Pending	0-2 years	TBD	USEPA, DNER, municipalities
3. Develop designs and plans of identified areas and secure funding to support the construction and maintenance of new sewer systems.	Completion of design plans and successful acquisition of funding commitments.	Finalize designs and secure funding.	Lead: PRASA Implementing partners: DNER, scientific community, municipalities, Estuario	Pending	3-5 years	TBD	USEPA, DNER, municipalities
4. Construct and achieve fully operational status for new sanitary sewer systems.	Number of new sanitary sewer systems constructed and verified as fully operational.	Complete construction and achieve full operational status.	Lead: PRASA Implementing partners: DNER, municipalities	Pending	5+ years	TBD	USEPA, DNER, municipalities
5. Monitor the effectiveness of solutions and determine compliance.	Sewer systems that meet community needs.	Adequate sewer systems for the communities.	Lead: PRASA Implementing partners: DNER, municipalities	Pending	5+ years	TBD	PRASA, DNER, municipalities

Regulatory and Policy Requirements

Raw sewage discharges into surface waterbodies result in a violation of DNER's water quality standards and the applicable provisions of the NPDES permits and their implementing regulations. A compliance plan must be developed, funded, and enforced.

WS-02 Relocate families living adjacent to the Caño Martín Peña.

Background

Caño Martín Peña is a critical tidal channel within the SJBE system that has been severely impacted by decades of urban encroachment, pollution, and inadequate infrastructure. One of the primary environmental and public health challenges in the Caño Martín Peña area arises from the dense communities built along its banks, many of which developed informally without access to essential utilities such as sanitary sewer systems or proper drainage. These communities face recurrent flooding, exposure to raw sewage, and deteriorating living conditions, placing residents—many of whom are among the most vulnerable populations in Puerto Rico—at significant risk (USACE, 2016).

The proximity of residential dwellings to the channel not only contributes to water quality degradation through direct sewage discharge but also exacerbates flooding risks during storm events, leading to widespread public health concerns including waterborne diseases and respiratory problems (Ponce School

of Medicine, 2011; University of Puerto Rico, 2013). The complex interaction between inadequate infrastructure, environmental degradation, and social vulnerability makes the Caño Martín Peña area a priority focus for restoration and resilience efforts.

Recognizing these challenges, the relocation of families living immediately adjacent to the Caño Martín Peña is a critical intervention to reduce human exposure to hazardous environmental conditions and to enable comprehensive ecosystem restoration and infrastructure improvements. Relocation efforts are essential to break the cycle of contamination and flooding, improve residents' quality of life, and create space for the construction of proper sanitary infrastructure and green buffers along the channel (USACE, 2016).

Successful relocation requires a thorough assessment of households, transparent community engagement, and ongoing monitoring to address residents' needs and concerns throughout the process. This approach aligns with best practices regarding community resilience by ensuring that affected populations are active participants in relocation planning and receive adequate support services.

Implementing a well-planned relocation strategy in the Caño Martín Peña area will not only protect public health but will also facilitate the long-term restoration and protection of the SJBE, benefiting ecosystems and communities throughout the watershed.

Activities

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Conduct an assessment and mapping initiative of households to identify relocation needs and priorities.	Detailed map identifying households needing relocation with prioritized rankings.	Prioritized list for relocation.	Lead: Proyecto ENLACE Implementing partners: DNER, municipalities, community groups	Pending	0-2 years	TBD	USEPA, DNER, municipalities, FEMA
2. Develop a community engagement and communication plan to inform residents about options, timelines, and available support services.	Completed community engagement and communication plan with outreach strategies and materials.	Plan to reach residents in target communities.	Lead: Proyecto ENLACE Implementing partners: DNER, municipalities, community groups, Estuario	Pending	0-2 years	TBD	USEPA, DNER, municipalities
3. Establish a monitoring and evaluation framework to track relocation progress and address any challenges or concerns.	Monitoring and evaluation framework with clear indicators and reporting protocols.	Monitoring framework.	Lead: Proyecto ENLACE Implementing partners: DNER, municipalities, community groups, Estuario	Pending	3-5 years	TBD	USEPA, DNER, municipalities, FEMA

Regulatory and Policy Requirements

Raw sewage discharges into surface waterbodies result in a violation of DNER's water quality standards and the applicable provisions of the NPDES permits and their implementing regulations. A compliance plan must be developed, funded, and enforced.

WS-03 Implement Infrastructure retrofits to support the reduction of raw sewage discharges into the SJBE.

Background

The discharge of untreated wastewater is a major source of pollution in the SJBE system. Raw sewage discharges significantly impact wildlife and other living resources and pose serious health hazards to people living near the estuarine system or using its waters for recreation and navigation. To effectively reduce these raw sewage discharges, it is imperative to implement targeted infrastructure retrofits that improve the integrity and operation of the sanitary sewer system to minimize overflow events and system failures.

Historical problems with the operation and maintenance of PRASA's sanitary sewer system have included obstructions in sanitary sewer lines, leading to system backups and overflows at manholes; infiltration of stormwater into the sanitary system, resulting in overflows; combined or interconnected sewage and stormwater conveyances; and pump station overflows. These chronic issues, driven by aging and deteriorating infrastructure, require focused retrofits such as repairing or replacing damaged sewer lines, separating combined sewer systems where possible, and upgrading pump stations with automation and backup power to enhance reliability. These issues have been exacerbated by an aging infrastructure that struggles to meet the demands of a growing population in the SJBE watershed, particularly in the face of increased storm events that infiltrate water into the system.

In 2023, PRASA reached an agreement with USEPA to make significant improvements and upgrades to its collection system and wastewater treatment facilities. This agreement expanded the requirements outlined in the 2016 consent decree, which was initially established to address deficiencies in PRASA's water treatment and distribution processes. The modifications to the consent decree were necessitated by damages caused during hurricanes Irma and Maria, which further highlighted the vulnerabilities of the existing infrastructure. The ongoing efforts under this decree include a comprehensive evaluation of the collection system, identification of critical areas for infrastructure upgrades, and the implementation of automated monitoring systems to enhance operational efficiency.

Key components of these infrastructure upgrades include the automation of pump stations to improve real-time system control and reliability, as well as the installation of backup power supplies and other redundancies to ensure uninterrupted operation during power outages or emergency events. Such enhancements are critical to preventing pump station failures and reducing overflow incidents.

In addition to PRASA's initiatives, similar challenges exist with private utility infrastructure, which has not been as well documented as PRASA's system issues. Addressing these infrastructure needs through targeted upgrades is vital for reducing raw sewage discharges into the SJBE, improving overall water quality, and safeguarding public health.

Figure 1. Unsewered Areas within the Juan Mendez Subbasin

Figure 2. Unsewered Areas within the SJBE Watershed**Activities**

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Eliminate overflows and bypasses through adequate operation and maintenance of systems.	Improved collection system and pump station maintenance to reduce discharges.	Reduce number of overflow incidents per year.	Lead: PRASA Implementing partners: DNER	On Track	5+ years	\$1.2 billion	PRASA, State Revolving Fund
2. Identify and work with private utilities to improve private sewage collection and treatment systems.	Improved collection system and pump station maintenance to reduce discharges.	Establish partnerships with private utilities to reduce discharges.	Lead: Private utilities Implementing partners: USEPA, Estuario	Pending	0-2 years	TBD	USEPA, State Revolving Fund
3. Identify and address locations of unregulated/ unauthorized sewer outflows.	Reduced pollutants from wastewater in stormwater outflows.	Reduce pollutant concentrations from combined sewer outflows.	Lead: DNER Implementing partner: USEPA	Pending	0-2 years	TBD	USEPA, State Revolving Fund
4. Conduct enforcement for identified unauthorized sewage discharges.	Reduced number of discharges to the estuary system.	Achieve compliance through enforcement actions and penalties.	Lead: DNER Implementing partner: USEPA	On Track	3-5 years	Staff time for responsible entities	USEPA
5. Implement focused corrective programs in zones identified as "critical" or "impaired," particularly within SJBE.	Number of corrective programs implemented in identified critical or impaired zones.	Launch and complete corrective programs in the designated critical zones.	Leads: PRASA, private utilities Implementing partners: DNER, USEPA	Pending	3-5 years	TBD	USEPA, State Revolving Fund
6. Prioritize correction of unresolved or high-risk contamination sites such as Juan Méndez Creek North, El Cinco, Fairview (16th Street), and Country Club.	Identification and prioritization of high-risk contamination sites for remediation.	Develop and approve remediation plans for prioritized sites, initiating corrective actions.	Leads: PRASA, private utilities Implementing partners: DNER, USEPA	Pending	3-5 years	TBD	USEPA, State Revolving Fund

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
7. Ensure redundancies in the system are in place to improve performance.	Number of redundancies incorporated into the system to enhance reliability and performance, such as automatization and electricity backup.	Design and implement redundancies covering critical system components.	Leads: PRASA, private utilities Implementing partners: DENER, USEPA	Pending	3-5 years	TBD	USEPA, State Revolving Fund
8. Facilitate discussion and participation in the IDDE Task Force.	Number of IDDE Task Force meetings held and level of stakeholder participation.	Conduct IDDE Task Force meetings.	Lead: Estuario Implementing partners: PRASA, DNER, USEPA, municipalities, academia	Pending	0-2 years	TBD	USEPA

Regulatory and Policy Requirements

Wastewater treatment and discharge are regulated by the NPDES permit program, Clean Water Act, and applicable PRASA rules and regulations. Unauthorized raw sewage discharges and bypasses into surface waterbodies result in a violation of DNER water quality standards. A compliance plan should be developed and enforced.

WS-04 Eliminate illegal commercial and residential sewage discharges into the stormwater sewer system.

Background

Estuario has funded a project to identify and address critical sanitary sewer discharges within the SJBE watershed. The reconnaissance phase of this project began in 2016 and the diagnostic phase began in November 2019 and is scheduled through September 2025. This project is vital for achieving this action in a study area which is heavily impacted by urban development and illegal sewage discharges.

The project includes a comprehensive assessment of almost 200 diagnostic stations located throughout the study area. These stations evaluate nutrient indicators such as dissolved phosphorus, dissolved ammonium, and nitrate, all of which are common sanitary sewer effluent discharges within an urban watershed. The monitoring of these nutrients is a critical action as elevated levels of these identified nutrients in the waterways can cause eutrophication, leading to harmful algal blooms (HABs) that can deplete oxygen levels and negatively affect aquatic life.

As of September 2024, more than 6,300 samples have been collected and analyzed, providing a dataset that allows for the identification of hotspots within the watershed where illegal sewage discharges are most prevalent (Rodríguez, 2025). This information has been critical in pinpointing the exact locations of illegal sewage discharges, enabling entities to take corrective action effectively.

271 Ultimately, the successful elimination of illegal commercial and residential sewage discharges relies on a
 272 multifaced approach that combines routine monitoring, community engagement and education, regulatory
 273 enforcement, and infrastructure enhancement.

274 **Activities**

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Identify all residential, commercial, and industrial sanitary connections to the storm sewer system that eventually discharge into the SJBE.	Improved illicit discharge reporting and tracking.	Document and map identified sanitary connections to the storm sewer system.	Leads: DNER, Puerto Rico Department of Transportation and Public Works (DTOP) Implementing partners: municipalities, PRASA	On Track	0-2 years	Staff time for responsible entities	DNER, municipalities, PRASA, USEPA, State Revolving Fund
2. Connect illicit discharges to the sanitary sewer system.	Reduced number of illicit discharges.	Identify violators and connect them to the sanitary sewer system.	Leads: PRASA, municipalities Implementing partners: DNER, DTOP	On Track	0-2 years	TBD	DNER, municipalities, PRASA, State Revolving Fund
3. Conduct enforcement for any violators who do not connect.	Reduced number of illicit discharges.	Implement enforcement actions against violators.	Leads: DNER, USEPA Leads: PRASA, municipalities	Ongoing	0-2 years	Staff time for responsible entities	DNER, USEPA
4. Construct sanitary sewer systems in unserved high-risk areas, using discharge location data.	Number of sanitary sewer systems constructed in identified high-risk, unserved areas.	Complete construction in high-risk areas.	Leads: DTOP, municipalities, PRASA Implementing partner: DNER	Pending	5+ years	TBD	DNER, municipalities, PRASA, State Revolving Fund

275 **Regulatory and Policy Requirements**

276 Unauthorized raw sewage discharges and bypasses into surface waterbodies result in a violation of DNER's
 277 water quality standards and applicable provisions, NPDES permits, Clean Water Act, and applicable PRASA
 278 rule and regulations. A compliance plan must be developed and enforced.

279 ****NEW-1* Develop and implement a Wastewater Management Plan for the San Juan Metropolitan Region.***

280 **Background**

281 The San Juan Metropolitan Region faces significant challenges related to wastewater management
 282 stemming from aging infrastructure, growing population density, and environmental pressures. The region's
 283 wastewater infrastructure system includes treatment plants, sewer networks, and discharge points that
 284 require comprehensive evaluation and modernization to meet current and future demands while ensuring
 285 compliance with environmental regulations and protecting public health (PRASA, 2020).

PRASA, as the primary agency responsible for wastewater services in the region, recognizes the urgent need to upgrade and optimize wastewater treatment capacity and infrastructure. The PRASA Strategic Plan 2020-2025 outlines key priorities to improve service reliability, advance regulatory compliance, and implement sustainable wastewater management practices. It emphasizes the importance of integrated planning, infrastructure rehabilitation, and community engagement to address wastewater challenges holistically (PRASA, 2020).

Developing a comprehensive wastewater management plan for the San Juan Metropolitan Region is critical to advancing these goals. Such a plan will provide a strategic framework to assess existing treatment plants, identify infrastructure gaps, and prioritize investments in upgrades and expansions. Additionally, it will incorporate pollution reduction strategies, regulatory compliance measures, and emergency response protocols to enhance system resilience and environmental protection.

Effective implementation of the wastewater management plan will support improved water quality in the SJBE and surrounding ecosystems, reduce public health risks, and bolster the region's capacity to adapt to extreme weather events. Continuous monitoring and adaptive management will be necessary to track progress, identify challenges, and update strategies to ensure long-term sustainability.

This action aligns with broader regional and agency objectives to restore the health of the estuary, safeguard community well-being, and promote sustainable urban development through sound wastewater management.

Activities

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Assess existing wastewater system and management to identify and prioritize challenges and opportunities.	Completion of a comprehensive assessment report detailing wastewater infrastructure, treatment capacity, and discharge locations.	Finalize assessment of existing infrastructure.	Lead: PRASA Implementing partners: DNER, municipalities, private utilities, regulatory agencies	Pending	0-2 years	TBD	USEPA, DNER, municipalities
2. Develop a wastewater management plan that includes infrastructure upgrades, regulatory compliance measures, pollution reduction strategies, and emergency response protocols.	Completion of a comprehensive wastewater management plan addressing upgrades, compliance, pollution reduction, and emergency response.	Develop and approve the wastewater management plan.	Lead: PRASA Implementing partners: DNER, municipalities, private utilities, regulatory agencies	Pending	3-5 years	TBD	USEPA, DNER, municipalities

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
3. Establish monitoring protocols to track progress, identify challenges, and update the plan as needed.	Implementation of monitoring protocols with regular data collection and reporting schedules.	Establish protocols and conduct progress reviews.	Lead: PRASA Implementing partners: DNER, municipalities, private utilities, regulatory agencies	Pending	0-2 years	TBD	USEPA, DNER, municipalities

Regulatory and Policy Requirements

Compliance with NPDES permits and DNER's water quality standards are necessary. Additionally, alignment with PRASA's strategic goals and coordination with municipal planning and public health policies are essential to ensure regulatory adherence and effective policy integration.

****NEW-2* Implement a comprehensive retrofit of existing wastewater treatment plants to improve nutrient removal and ensure compliance with regulatory standards.***

Background

Wastewater treatment plants in Puerto Rico, particularly those serving the SJBE watershed, play a vital role in managing effluent discharges and protecting water quality. However, many of these treatment plants were originally constructed with limited nutrient removal capabilities, which has contributed to elevated levels of nitrogen and phosphorus in receiving waters. Also, a growing population was not contemplated in the original design to manage the increase in wastewater. Excess nutrients promote eutrophication, harming aquatic ecosystems, reducing biodiversity, and impairing recreational and economic uses of water bodies (Estuario, 2000).

PRASA, along with municipal and private operators, manages most of the treatment plants. While upgrades and maintenance have occurred, aging infrastructure and population growth continue to challenge the capacity and effectiveness of existing facilities. Enhancing nutrient removal through comprehensive retrofits is essential to meet modern environmental standards and safeguard the SJBE watershed.

As mentioned earlier, Puerto Rico benefits from a unique regulatory provision under Section 301(h) of the Clean Water Act, which allows certain coastal communities to operate wastewater treatment plants at primary treatment standards rather than full secondary treatment. This waiver acknowledges the island's specific geographic, economic, and infrastructural constraints. Despite this dispensation, ongoing efforts focus on improving nutrient removal and overall treatment performance to protect water quality and comply with applicable permits and regulations.

Comprehensive retrofits involve systematically identifying deficiencies in nutrient removal, designing plant upgrades, securing necessary funding and regulatory approvals, and executing construction while maintaining treatment capacity. This phased approach ensures minimal service disruption and maximizes environmental benefits. Successfully implementing these retrofits is critical to reducing nutrient pollution, improving ecosystem health, and meeting the water quality goals of the SJBE and Puerto Rico at large.

334 **Activities**

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Identify deficiencies in current treatment plants regarding nutrient removal capabilities and areas needed upgrades.	Completion of an evaluation report identifying nutrient removal deficiencies and upgrade needs at treatment plants.	Complete evaluation for all identified treatment plants.	Lead: PRASA Implementing partners: private utilities, regulatory agencies	Pending	0-2 years	TBD	USEPA, DNER, municipalities, private utilities
2. Develop retrofit designs and collaborate with stakeholders to secure funding and regulatory approvals.	Completion of retrofit design plans and successful acquisition of funding and regulatory permits.	Finalize designs and secure necessary funding and permits.	Lead: PRASA Implementing partners: private utilities, regulatory agencies	Pending	3-5 years	TBD	USEPA, DNER, municipalities, private utilities
3. Execute phased construction, minimize service disruptions, and maintain treatment capacity throughout construction.	Completion of construction phases on schedule with minimal service interruptions and maintained treatment capacity.	Complete each construction phase while limiting service disruptions.	Lead: PRASA Implementing partners: private utilities, regulatory agencies	Pending	5+ years	TBD	USEPA, DNER, municipalities, private utilities
4. Monitor the effectiveness of retrofits and continuously identify and address the need for additional retrofits.	Improved water quality through ongoing retrofits.	Determine project effectiveness and identify additional project needs.	Lead: PRASA Implementing partners: private utilities, regulatory agencies	Pending	5+ years	TBD	USEPA, DNER, municipalities, private utilities

335 **Regulatory and Policy Requirements**

336 Compliance with NPDES permits and DNER's water quality standards is necessary. Additionally, alignment
 337 with PRASA's strategic goals and coordination with municipal planning and public health policies are
 338 essential to ensure regulatory adherence and effective policy integration.

339 ****NEW-3* Collaborate with local industry to improve wastewater infrastructure and treatment levels using the best***
 340 ***available technology.***

341 **Background**

342 USEPA has acknowledged that the water and wastewater industry is facing significant challenges in
 343 maintaining safe and sustainable water resources. These challenges include decreased availability and
 344 quality of water resources, population growth, emerging contaminants, aging infrastructure, and impacts of
 345 extreme events related to precipitation, temperature, and flooding (USEPA, 2021). To help address these
 346 challenges, USEPA conducted a project evaluating six case studies of recent innovations in municipal

nutrient removal treatment. This project focused on innovative technologies and process enhancements designed to significantly intensify treatment, outperform conventional designs, and enhance the removal of total nitrogen and total phosphorus (USEPA, 2021).

The presence of contaminants of emerging concern (CECs) creates an additional layer of complexity to wastewater management. A recent study in the SJBE system detected 64 chemicals, including 51 pharmaceuticals and personal care products and 12 different hormones, with some chemicals showing a 100% detection frequency across the sampling sites (Rodríguez-Sierra et al, 2025). Wastewater inundation was identified as the source of CECs based on certain wastewater tracers, highlighting the need for improved wastewater treatment technologies and collection systems to eliminate these contaminants effectively.

To support the SJBE ecosystem and local communities, collaborating with industry to identify potential treatment technologies and methods to improve the existing infrastructure will be crucial. Engaging local industry can facilitate the adoption of the best available technologies that enhance wastewater treatment processes. The consequences of these contaminants require further study, and the development of innovative solutions will be necessary to address both current and future challenges in wastewater management (Rodríguez-Sierra et al, 2025).

Activities

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Develop partnerships with industry to identify viable wastewater treatment technologies with higher treatment efficiencies.	Improved treatment of wastewater.	Establish partnerships to identify innovative treatment technologies.	Leads: PRASA, private utilities Implementing partners: DTOP, local industries, Estuario	Pending	0-2 years	TBD	PRASA, private utilities, local industries
2. Implement identified technologies with higher treatment levels at major wastewater facilities.	Improved treatment of wastewater resulting in reduced pollutants discharged to the SJBE system.	Install and operate treatment technologies.	Leads: PRASA, private utilities Implementing partners: DTOP, local industries	Pending	3-5 years	TBD	USEPA, State Revolving Fund, local industries
3. Modify wastewater treatment standards to require higher pollutant removal in key areas of the watershed.	Improved treatment of wastewater resulting in reduced pollutants discharged to the SJBE system.	Revise current standards to mandate an increase in pollutant removal efficiency.	Leads: DNER, USEPA Implementing partners: PRASA, private utilities, DTOP	Pending	3-5 years	Staff time at regulatory agencies	DNER, USEPA

Regulatory and Policy Requirements

Modification of local standards to require higher wastewater treatment levels and implementation through facility NPDES permits.

***NEW-4* Conduct regular training workshops for identifying and responding to unauthorized discharges, emphasizing the importance of rapid response and reporting.**

Background

Unauthorized discharges into waterbodies pose significant threats to environmental health and public safety, making it imperative to establish effective training workshops for community members and stakeholders. One effective initiative in this realm is the Citizen Scientist Certification offered by Estuario, which fosters collaboration between professional scientists and the general public. This certification empowers individuals to actively participate in monitoring and protecting their local ecosystems, particularly in the context of Puerto Rico's unique environments (Estuario, 2025).

The Citizen Scientist Certification emphasizes the importance of citizen science in producing and applying scientific knowledge. By engaging community members in the scientific process, the training workshops enhance understanding of local biodiversity and environmental challenges. Participants learn to identify and respond to unauthorized discharges, equipping them with the skills needed to monitor water quality and report issues promptly (Estuario, 2025).

There is a pressing need to improve the tracking and reporting of wastewater discharges in Puerto Rico. A study by Martínez et al. (2022) revealed that PRASA pump systems have a high rate of spills, with only 60% of incidents being reported. Even when no spills are being officially reported, there are known spills that occur, indicating significant gaps in monitoring and enforcement. The study also highlighted that resolving spills in San Juan takes more than 20 hours, one of the longest response times on the island, and still some reported spills remain unresolved. Furthermore, the absence of reported spills from PRASA pump stations in 2020 raises concerns about the accuracy of data and the true frequency of incidents, underscoring the need for improved tracking mechanisms.

Activities

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Develop a training curriculum for responding to and reporting wastewater overflows.	Defined process to respond to and report wastewater spills.	Train personnel to respond to and report wastewater overflows.	Lead: DNER, USEPA Implementing partners: PRASA, private utilities, DTOP, Estuario	Pending	0-2 years	TBD	DNER, USEPA
2. Collaborate with public and private utilities to conduct workshops.	Educated staff to better track wastewater overflows.	Facilitate workshops annually to better track wastewater overflows.	Lead: DNER, USEPA Implementing partners: PRASA, private utilities, DTOP, Estuario	Pending	3-5 years	TBD	DNER, USEPA
3. Track changes in wastewater overflow reporting to improve future workshops and evaluate effectiveness.	Reduced number of wastewater overflows that are not reported.	Decrease the number of unreported overflows.	Lead: DNER, USEPA Implementing partners: PRASA, private utilities, DTOP, Estuario	Pending	3-5 years	TBD	DNER, USEPA

Regulatory and Policy Requirements

None.

****NEW-5* Create and manage an integrated public system for reporting the resolution of illicit discharges, as opposed to each agency and municipality handling its own in private.***

Background

Illicit discharges—unlawful or unauthorized releases of pollutants into stormwater and wastewater systems—pose significant threats to water quality and public health within the SJBW watershed. These discharges can introduce harmful contaminants, including hazardous chemicals, pathogens, and nutrients, which degrade aquatic ecosystems, compromise recreational waters, and increase risks to surrounding communities (USEPA, 2021).

Currently, the management and resolution of illicit discharges in Puerto Rico are fragmented, with individual agencies and municipalities operating separate reporting and enforcement systems. This decentralized approach often results in inconsistent data collection, delayed responses, and limited transparency, hindering effective identification and mitigation of pollution sources. The lack of coordinated workflows and data sharing impairs the ability of regulatory bodies and stakeholders to comprehensively track illicit discharges and implement timely corrective actions.

To address these challenges, establishing an integrated public system for reporting and managing illicit discharges is critical. Such a system would unify protocols, streamline interagency coordination, and facilitate comprehensive data sharing, enhancing transparency and responsiveness. Furthermore, engaging community members as active participants in reporting efforts can expand detection capabilities and foster greater public awareness and stewardship.

Implementing this integrated system requires formalized protocols for coordination among key agencies—including DNER, USEPA, PRASA, and private utilities—along with data-sharing agreements to enable seamless information exchange. Community outreach and education are essential to empower residents to identify and report illicit discharges, thus strengthening enforcement and protection of water resources.

This collaborative approach aligns with best practices in environmental governance and supports Estuario's broader goals to improve water quality and protect public health through effective pollution prevention and control.

Activities

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Establish protocols and workflows for coordination and response between agencies and partners.	Development and implementation of formal protocols and workflows for inter-agency coordination and response.	Approve coordination protocols with key agencies.	Lead: Estuario Implementing partners: DNER, USEPA, PRASA, DTOP, private utilities, municipalities	Pending	0-2 years	TBD	DNER, USEPA

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
2. Implement data-sharing agreements among agencies and partners to facilitate transparency and comprehensive tracking.	Number of data-sharing agreements executed and active among agencies and partners.	Establish data-sharing agreements with key agencies.	Lead: Estuario Implementing partners: DNER, USEPA, PRASA, DTOP, private utilities, municipalities	Pending	0-2 years	TBD	DNER, USEPA
3. Design, build, and test the integrated public system and dashboard.	Improved system to provide illicit discharge reporting.	Design approved, build completed, test completed, and necessary improvements from testing implemented.	Lead: Estuario Implementing partners: DNER, USEPA, PRASA, DTOP, private utilities, municipalities	Pending	0-2 years	TBD	DNER, USEPA
4. Publish the system with the public dashboard in each of the participating agency's websites to support transparency.	Public engagement with dashboard.	System published.	Lead: Estuario Implementing partners: DNER, USEPA, PRASA, DTOP, private utilities, municipalities	Pending	3-5 years	TBD	DNER, USEPA
5. Encourage community participation in reporting illicit discharges.	Number of community members engaged in reporting efforts and reports submitted on illicit discharges.	Launch outreach campaigns to increase reports of illicit discharges.	Lead: Estuario Implementing partners: DNER, USEPA, PRASA, private utilities, community groups, Estuario	Pending	0-2 years	TBD	DNER, USEPA

419 Regulatory and Policy Requirements

420 Currently, each agency and municipality manage complaints separately. However, citizens do not know to
 421 which agency or municipality they should make the complaint. The Puerto Rico Innovation & Technology
 422 Service (PRITS) could develop an integrated system for receiving, managing, and providing updates on
 423 complaints to reduce confusion and provide accountability.

424 References

425 Brown, E., Caraco, D., & Pitt, R. 2004. Illicit Discharge Detection and Elimination: A Guidance Manual for
 426 Program Development and Technical Assessments. USEPA.
 427 https://www3.epa.gov/npdes/pubs/idde_manualwithappendices.pdf.

428 Bunch, B. W., C.F. Cerco, M. S. Dortch, B. H. Johnson, and K. W. Kim. 2000. Hydrodynamic and water quality
 429 model study of San Juan Bay estuary. ERDC TR-00-1. U.S. Army Engineering Research and Development
 430 Center. Vicksburg, MS.

431 Caño Martín Peña Comprehensive Infrastructure Master Plan. 2022.
 432 [https://issuu.com/canmartinpena/docs/20220902-plan_maestro_integral_infraestructura-](https://issuu.com/canmartinpena/docs/20220902-plan_maestro_integral_infraestructura-re?fr=xKAE9_zU1NQ)
 433 [re?fr=xKAE9_zU1NQ](https://issuu.com/canmartinpena/docs/20220902-plan_maestro_integral_infraestructura-re?fr=xKAE9_zU1NQ).

- 434 Estuario. July 2000. Comprehensive Conservation and Management Plan Chapter Three: Water and
435 Sediment Quality Action Plan. <https://estuario.org/wp-content/uploads/2019/10/CHAP3.pdf>.
- 436 Estuario. 2025. Citizen Scientist Certification. <https://estuario.org/ccc/>
- 437 Habel, S., Fletcher, C. H., Barbee, M. M., & Fornace, K. L. 2024. Hidden Threat: The Influence of Sea-Level Rise
438 on Coastal Groundwater and the Convergence of Impacts on Municipal Infrastructure. *Annual review of*
439 *marine science*, 16, 81–103. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-020923-120737>.
- 440 Manrique Hernández, H. 2020. Presencia de Enterococcus sp. en la reserva natural estuarina de la Laguna
441 del Condado y su relación con eventos de precipitación. Pages 22-27 in Programa del Estuario de la Bahía de
442 San Juan, editor. Diagnóstico de vulnerabilidad de la cuenca y el sistema del estuario de la bahía de San Juan
443 ante el impacto de huracanes. Programa del Estuario de la Bahía de San Juan, San Juan, PR.
- 444 Martínez, G. A. 2024. Implementation of a Water Quality Restoration Strategy at the San Juan Bay Estuary
445 and the Río Grande De Loíza (Below Dam) Estuary Contributing Zone (Phase II). Progress Report
446 Encompassing Period From November 1, 2019 to September 30, 2024. Corporation for the Conservation of
447 the San Juan Bay Estuary, SJBE Contract Number C-72-250-03.
- 448 Martínez, G. A., M. A. Vázquez, and Y. Bermúdez. 2022. Evaluation of unanticipated spill reports from
449 PRASA's sanitary pump stations 2016-2021. University of Puerto Rico College of Agricultural Sciences,
450 Mayagüez, PR.
- 451 Ortiz Zayas, J. R., E. Cuevas, O. L. Mayol Bracero, L. Donoso, I. Trebs, D. Figueroa Nieves, and W. H. McDowell.
452 2006. Urban influences on the nitrogen cycle in Puerto Rico. *Biogeochemistry* 79:109-133.
- 453 PRASA. Capital Improvement Program – Interactive Map. 2025.
454 <https://www.acueductos.pr.gov/infraestructura/programa-de-mejoras-capitales>
- 455 PRASA. 2020. Five Year Strategic Plan 2021-2025.
456 <https://docs.pr.gov/files/AAA/Nuestra%20AAA/Documentos/PRASA%20Strategic%20Plan%202020-2025.pdf>.
- 457 PRASA. Consent Decree (United States of America v. Puerto Rico Aqueduct and Sewer Authority). May 10,
458 2016.
- 459 PRASA. Climate Change Vulnerability Analysis. September 2014.
460 [https://docs.pr.gov/files/AAA/Infraestructura/Documentos/Estudio%20de%20vulnerabilidad%20\(PDF%20-](https://docs.pr.gov/files/AAA/Infraestructura/Documentos/Estudio%20de%20vulnerabilidad%20(PDF%20-%2033M).pdf)
461 [%2033M\).pdf](https://docs.pr.gov/files/AAA/Infraestructura/Documentos/Estudio%20de%20vulnerabilidad%20(PDF%20-%2033M).pdf)
- 462 Rodríguez-Sierra, C.J., Mansilla-Rivera, I., & Bauzá-Ortega, J.F. 2025. Passive sampling of contaminants of
463 emerging concern in a Caribbean urban estuary of Puerto Rico. *Marine pollution bulletin*, 213, 117674.
- 464 Sepúlveda-Rivera, A. and J. Carbonell, 1988. Cangrejos-Santurce: Historia ilustrada de su desarrollo urbano
465 (1519-1950), Centro de Investigaciones. CARIMAR/Oficina Estatal de Preservación Histórica. 85 pp.
- 466 Vila Biaggi I. M. 2019. Caño Martín Peña Urban Water Location Work Plan. Caño Martín Peña, San Juan,
467 Puerto Rico.

- 468 Webb, R. M. T., and F. Gómez Gómez 1998. Synoptic survey of water quality and bottom sediments. San Juan
469 Bay estuary system, Puerto Rico, December 1994-July 1995. Water Resources Investigations Report 97-4144.
470 U.S. Geological Survey, San Juan, PR.
- 471 USACE. 2016. Final Feasibility Report: Caño Martín Peña Ecosystem Restoration Project. February 2016.
- 472 USEPA. 2025. Clean Water Solutions for Puerto Rico's Isolated Communities. [https://www.epa.gov/water-](https://www.epa.gov/water-research/clean-water-solutions-puerto-ricos-isolated-communities)
473 [research/clean-water-solutions-puerto-ricos-isolated-communities](https://www.epa.gov/water-research/clean-water-solutions-puerto-ricos-isolated-communities).
- 474 USEPA. 2023. EPA Requires Puerto Rico Aqueduct and Sewer Authority to Upgrade Sewage Infrastructure
475 Under Modified Agreement. Accessed at: [https://www.epa.gov/newsreleases/epa-requires-puerto-rico-](https://www.epa.gov/newsreleases/epa-requires-puerto-rico-aqueduct-and-sewer-authority-upgrade-sewage-infrastructure)
476 [aqueduct-and-sewer-authority-upgrade-sewage-infrastructure](https://www.epa.gov/newsreleases/epa-requires-puerto-rico-aqueduct-and-sewer-authority-upgrade-sewage-infrastructure).
- 477 USEPA. 2021. Innovative Nutrient Removal Technologies: Case Studies of Intensified or Enhanced
478 Treatment. Office of Water. Office of Wastewater Management, Water Infrastructure Division, Sustainable
479 Communities and Infrastructure Branch. EPA 830-R-01-001.
- 480 USEPA. 2021. Fact Sheet Puerto Nuevo Regional Wastewater Treatment Plant.
- 481 USEPA. 2021. PRASA Bayamon Regional Wastewater Treatment Plant Fact Sheet.
- 482 USEPA. 2021. Using Nationwide and Local Data Sources to Address Decentralized Wastewater Infrastructure
483 Challenges in the Contiguous U.S. and the Caribbean. [https://www.epa.gov/system/files/documents/2021-](https://www.epa.gov/system/files/documents/2021-10/using-data-to-address-decentralized-ww-infrastructure-challenges.pdf)
484 [10/using-data-to-address-decentralized-ww-infrastructure-challenges.pdf](https://www.epa.gov/system/files/documents/2021-10/using-data-to-address-decentralized-ww-infrastructure-challenges.pdf)
- 485 USEPA. 2020. Fact Sheet Carolina Regional Wastewater Treatment Plant.
- 486 USEPA. February 2019. EPA Initiative Promotes Stronger, More Effective Septic Systems in the Caribbean.
487 [https://www.epa.gov/archive/epa/newsreleases/epa-initiative-promotes-stronger-more-effective-septic-](https://www.epa.gov/archive/epa/newsreleases/epa-initiative-promotes-stronger-more-effective-septic-systems-caribbean.html)
488 [systems-caribbean.html](https://www.epa.gov/archive/epa/newsreleases/epa-initiative-promotes-stronger-more-effective-septic-systems-caribbean.html).
- 489 USEPA. June 2011. Decision Document: Analysis of the Section 301(h) Modification of Secondary Treatment
490 Applications for the Bayamon and Puerto Nuevo Regional Wastewater Treatment Plants.
491 https://www3.epa.gov/region02/water/7-1-2011-Decision_Document.pdf.

Stormwater Infrastructure

Baseline

Stormwater runoff, whether from extreme weather events or typical rainfall, has an impact on the SJBE system. Urban land use and land cover are intrinsic to stormwater management and runoff generation. According to Webb and Gómez Gómez (1998), approximately 60% of the rainfall in the region is converted to runoff that flows into the estuary. The stormwater systems in Puerto Rico are primarily the responsibility of the municipalities; however, DTOP and DNER also play significant roles in planning, regulating, and maintaining stormwater infrastructure, particularly in coordination with municipal authorities and PRASA. This multi-agency responsibility can complicate management and maintenance efforts due to overlapping jurisdictions (Bauzá-Ortega, 2015).

[placeholder for a graphical representation of how the stormwater system is managed.]

Figure 3. Stormwater System Management

The presence of combined wastewater and stormwater pipeline networks presents unique challenges. In a settlement in 2023, PRASA agreed to increase transparency with the public regarding the combined sewer overflows.

The SJBE watershed is predominantly urban, with 60.3% classified as “urban land” (Government of Puerto Rico, 2015). However, this classification oversimplifies a larger problem: the high level of urbanization leads to significant increases in impervious surfaces, such as rooftops, roads, and parking lots, which drastically reduce natural infiltration and increase stormwater runoff volume and velocity. This intensifies flooding risks and accelerates pollutant transport to waterbodies. Furthermore, urban infrastructure often lacks sufficient capacity or design to manage these altered hydrological patterns, contributing to frequent flooding events and environmental degradation (Santos Flores and Martínez-Rodríguez, 2020; Burgos-López, 2025). This high level of urbanization results in high volumes of stormwater runoff, particularly in areas such as the San José Lagoon, whereabout 90% of the freshwater inflows are attributed to urban runoff. (Santos Flores and Martínez-Rodríguez, 2020). Approximately 70% of the rainfall was converted into inflows to Torrecilla, San José, and Piñones, which increased the waterbody levels to a point that they did not return to normal levels during the measuring cycle.

These waterbodies are sinks for pollutants from the watershed and can export these pollutants during high rainfall events and flow reversal periods. Specifically, during heavy rainfall and flow reversal, these lagoons and estuarine waterbodies can export accumulated nutrients, pathogens, sediments, and other contaminants downstream into coastal waters and the Atlantic Ocean, potentially affecting marine ecosystems and coastal water quality. This export process increases the spatial extent of pollution beyond the estuary and can cause HABs and other ecological disturbances in coastal zones (Ramírez et al., 2012). Understanding these pollutant dynamics is critical for effective watershed and coastal management.

The Cucharillas Marshland in Cataño plays a role in flood protection and water quality improvement, acting as a sponge to absorb high levels of runoff. The Cucharillas Marshland consists of mostly herbaceous wetland, mangroves, and open water. Its hydrology is influenced by stormwater, tidal cycles, and runoff from urban areas and a pump station operated by DNER to minimize flooding during heavy rainfall events in surrounding communities (Ramírez et al., 2012). Obstructions and backflow of raw sewage at points of

discharge can be seen when extreme weather and flooding events occur (Bauzá-Ortega, 2015). Additionally, flooding has become a more prominent concern exacerbated by urban expansion, throughout the SJBE watershed, upstream deforestation and impermeabilization, and sea level rise, among other stressors. A key project addressing flooding is the Río Puerto Nuevo Flood Damage Reduction Project, which involves channelizing over 17 kilometers of the Río Piedras in San Juan to reduce flood risks in densely urbanized areas (USACE, 2023). Engineered flood control projects that integrate structural and non-structural components are vital complements to comprehensive stormwater management efforts.

Urbanization and land use patterns significantly influence stormwater generation and pollutant transport in the SJBE watershed. The replacement of natural infiltration zones with impervious surfaces, such as rooftops and roadways, exacerbates runoff volumes and sedimentation, leading to higher pollutant loads entering the estuary. Current planning tools, such as the Puerto Rico Land Use Plan fail to recognize the hydrological and ecosystem contributions of pervious surfaces, categorizing them uniformly as "urban land" (Burgos-López, 2025). This oversimplification neglects their critical role in stormwater infiltration, urban cooling, and exacerbating environmental challenges.

In addition, there are significant areas within the SJBE watershed that lack adequate infrastructure altogether. These areas often rely on informal drainage systems or have no stormwater management solutions in place, leading to increased vulnerability during heavy rainfall and extreme events. Without proper infrastructure, stormwater runoff can overwhelm natural drainage pathways. Adequate infrastructure includes well-designed and maintained drainage channels, culverts, retention basins, and storm drains capable of handling local runoff volumes. Insufficient maintenance practices, such as failure to remove debris, sediment, and vegetation that can block drainage and cause localized flooding, are also an issue for stormwater management. Effective maintenance is essential to ensure stormwater infrastructure functions properly and reduces flood risks (Bauzá-Ortega, 2015). Improper stormwater infrastructure not only threatens the ecological balance of the SJBE but also poses serious public health risks for communities that depend on the watershed's water resources for recreation and sustenance.

The legal and institutional priorities guiding stormwater infrastructure in Puerto Rico are outlined in consent decrees for the Municipality of San Juan, DTOP, and DNER. These consent decrees set forth specific requirements aimed at improving stormwater management and ensuring compliance with federal water quality standards. For instance, the consent decree for the Municipality of San Juan mandates the implementation of measures to reduce combined sewer overflows, which directly impact stormwater quality and infrastructure effectiveness (Consent Decree, 2015).

The stormwater infrastructure in the SJBE watershed faces numerous challenges, exacerbated by urbanization, extreme events, sea level rise, and regulatory complexities. Addressing these issues requires a comprehensive approach that incorporates improved monitoring, community engagement, and adherence to regulatory policies.

Objectives

- Eliminate illicit discharges and reduce sediments and contaminants reaching the estuarine system from stormwater systems.
- Restore and strengthen green infrastructure to improve stormwater management.

Actions

WS-01 Design and construct a stormwater system for the communities fringing the eastern section of Caño Martín Peña.

Background

The communities bordering the eastern section of Caño Martín Peña, including Cantera, Barrio Obrero Marina, Buena Vista Santurce, Buena Vista Hato Rey, Israel, and Bitumul, face significant challenges due to inadequate drainage infrastructure. These low-lying areas experience frequent and severe flooding events, exacerbated by the absence of a dedicated stormwater collection system. During flood events, residents are often inundated with a dangerous mix of stormwater and sewage, leading to serious public health concerns.

The broader context of the Caño Martín Peña Special Planning District reveals a critical need for improved stormwater management. The District suffers from degraded channel conditions and informal community development, which contribute to chronic flooding issues. Many areas lack formal stormwater sewer systems and have poorly maintained water infrastructure, leading to frequent inland flooding and direct wastewater discharges into canals. The existing systems are often clogged or improperly functioning, posing additional environmental and health risks (Proyecto ENLACE, 2022).

A hydrologic-hydraulic (H-H) model has been developed to assess existing conditions, indicating that around 50% of the Caño Martín Peña District lies within the 1% annual floodplain (Proyecto ENLACE, 2022). The model highlights the urgency of addressing not only large storm events but also frequent smaller storms, which have been overlooked in past planning efforts. The separation of sanitary wastewater from stormwater is critical for improving waterway health and reducing flooding risks.

It is important to note that dredging the Caño Martín Peña channel alone will not resolve flooding issues in the adjacent communities. Flood mitigation requires a comprehensive urban stormwater management approach that encompasses improvements to stormwater infrastructure, drainage capacity, and watershed-wide planning. This holistic strategy is essential to effectively reduce flood risk and improve water quality across the entire district.

As extreme weather patterns become more prevalent, the design, construction, and maintenance of an effective stormwater system in these communities will be essential for enhancing resilience to flood risks, protecting public health, and ensuring environmental sustainability. The proposed adaptation strategy in the master plan aims to implement a comprehensive stormwater management system that addresses the unique challenges faced by these communities, thereby improving overall quality of life and ecological health in the region.

Significant progress has been made toward achieving this action, including the development of detailed stormwater infrastructure assessments, community engagement initiatives, and phased implementation of critical upgrades aligned with the master plan. Early activities focused on mapping vulnerable areas and prioritizing infrastructure needs, which have evolved into coordinated efforts with local agencies and stakeholders to advance design, funding, and construction phases. This evolution reflects a growing recognition of the complexity of stormwater challenges and the necessity of integrated solutions. Future efforts will continue to build upon these foundations to ensure sustainable flood risk reduction and water quality improvements.

608 **Activities**

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Improve the stormwater system for the communities along Caño Martín Peña to address previously identified infrastructure needs.	Reduced pollutants to the SJBE system from stormwater runoff in these communities.	Retrofit and complete stormwater projects in the communities along Caño Martín Peña.	Lead: PRASA Implementing partners: municipalities, DTOP	On Track	5+ years	TBD	USEPA, State Revolving Fund, PRASA, DNER, municipalities
2. Develop a stormwater management plan for the SJBE watershed.	Identified priority areas for stormwater infrastructure improvements and construction.	Identify priority areas for infrastructure improvement.	Lead: Estuario Implementing partners: DNER, municipalities, DTOP, academia, scientific community, community groups	Pending	3-5 years	TBD	USEPA, DNER, municipalities, DTOP
3. Implement the priority recommendations from the stormwater management plan.	Improved stormwater management and treatment.	Execute priority projects from the stormwater management plan.	Lead: PRASA Implementing partners: DNER, municipalities, regulatory agencies	Pending	5+ years	TBD	State Revolving Fund, USEPA, PRASA, DNER, municipalities, DTOP

609 **Regulatory and Policy Requirements**

610 Municipal separate storm sewer system (MS4) discharges are regulated under the Clean Water Act.
 611 Pursuant to this Act, USEPA issued regulations under the NPDES program which intend to minimize, reduce,
 612 control, and/or eliminate discharges of contaminated stormwater through storm sewers.

613 ***WS-01 Design and construct a stormwater management system for other adjacent communities that currently lack***
 614 ***adequate infrastructure.***

615 **Background**

616 Communities within the San Juan Metropolitan Region, that are part of SJBE watershed, face significant
 617 challenges due to inadequate or nonexistent stormwater infrastructure. Many neighborhoods, particularly
 618 those in low-lying or rapidly urbanizing areas, lack proper drainage systems to effectively manage
 619 stormwater runoff. This deficiency leads to frequent flooding, property damage, and increased public health
 620 risks from waterborne contaminants during rain events. Moreover, the absence of effective comprehensive
 621 stormwater management contributes to the degradation of water quality in local waterways, which in turn
 622 impacts the broader SJBE ecosystem.

623 Stormwater management in the region has historically been fragmented, with responsibilities divided
 624 among various agencies including the DNER, PRASA, DTOP, and municipal governments. Planning,
 625 coordination challenges, and resource limitations have slowed progress in developing comprehensive
 626 drainage solutions, particularly in underserved communities (Bauzá-Ortega, 2015).

Effective stormwater management requires a holistic approach that integrates gray infrastructures such as pipes, culverts, and detention basins with green infrastructure techniques including permeable pavement, rain gardens, and restored wetlands. throughout the watershed. An integrated approach can reduce runoff volumes, mitigate flooding, and improve water quality by enhancing natural infiltration and pollutant filtration (USEPA, 2021).

The proposed action focuses on systematically identifying priority areas with the greatest drainage and flood vulnerabilities through detailed risk assessments and hydrologic analyses. Engaging local communities and stakeholders throughout the planning and design phases ensures that solutions are contextually appropriate, culturally sensitive, and widely supported. This collaboration fosters community stewardship and encourages the sustainable use and maintenance of stormwater infrastructure (PRASA, 2020).

By designing and constructing integrated stormwater systems tailored to the specific needs of these communities, this action aims to reduce flood risks, protect public health, and restore ecological integrity within the San Juan Metropolitan Region. These efforts align with regional goals to enhance resilience and promote sustainable urban development (PRASA, 2020).

Activities

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Identify priority areas and analyze drainage patterns and flood risks.	Completion of a risk assessment report identifying priority areas with detailed analysis of drainage patterns and flood vulnerabilities.	Finalize analysis of priority areas.	Leads: DNER, DTOP, municipalities Implementing partners: scientific community, community groups	Pending	0-2 years	TBD	USEPA, DNER, municipalities, DTOP
2. Engage community members and local stakeholders in the planning and design process.	Engage community members and local stakeholders in identifying and prioritizing stormwater management issues in their neighborhoods, to inform planning and site selection efforts.	Engage community members and stakeholders.	Leads: DNER, DTOP, municipalities Implementing partners: scientific community, community groups, Estuario	Pending	0-2 years	TBD	USEPA, DNER, municipalities, DTOP

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
3. Develop stormwater system designs incorporating both gray and green infrastructure.	Completion of integrated stormwater system design plans that combine gray and green infrastructure solutions.	Finalize designs of priority areas.	Leads: DNER, DTOP, municipalities Implementing partners: scientific community, community groups	Pending	3-5 years	TBD	USEPA, DNER, municipalities, DTOP

Regulatory and Policy Requirements

Coordination across local agencies such as DNER, PRASA, DTOP, and municipal governments is required to ensure alignment with regional planning, environmental regulations, and community engagement policies.

****NEW* Design and upgrade the current infrastructure to support stormwater management in the San Juan Metropolitan Region.***

Background

The stormwater infrastructure in urban areas within the SJBE watershed face significant challenges due to aging and failing components, inadequate capacity, and increasing vulnerabilities to flooding and pollution. Many existing systems are dated and are no longer sufficient to manage current stormwater volumes, particularly in the context of urban growth and extreme weather events. Consequently, these deficiencies contribute to frequent flooding, property damage, and the transport of pollutants into critical water bodies, including the SJBE (Bauzá-Ortega, 2015).

Addressing these challenges requires strategic upgrades and a comprehensive approach to modernize and enhance the existing stormwater infrastructure. This involves thorough assessments to identify aging or failing components, flood-prone areas, and pollution sources, followed by prioritized actions to upgrade and optimize system performance. Importantly, engaging communities and stakeholders throughout the process ensures that projects are responsive to local needs and promote sustainable management practices (PRASA, 2020).

A comprehensive strategy that integrates both traditional gray infrastructure improvements and green infrastructure solutions that improve stormwater infiltration, reduce runoff, and enhance ecosystem services will support flood mitigation, water quality improvement, and increase resilience of the urban watershed (USEPA, 2021).

Successful implementation depends on efficient cross-agency collaboration, securing adequate funding, and navigating regulatory frameworks that govern stormwater management and environmental protection. Close collaboration among key agencies is key to ensuring coordinated planning, approval, and execution of retrofit projects (PRASA, 2020).

By systematically retrofitting vulnerable stormwater infrastructure across the San Juan Metropolitan Region, this action aims to reduce flood risks, minimize pollutant loads, and enhance the overall health and resilience of the watershed.

671 **Activities**

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Assess existing infrastructure to identify deficiencies, aging components, and areas prone to flooding or pollution.	Completion of a detailed infrastructure assessment report identifying deficiencies, aging components, and vulnerable areas.	Finalize assessment for all critical infrastructure.	Leads: DNER, DTOP, municipalities Implementing partners: scientific community, community groups	Pending	3-5 years	TBD	USEPA, DNER, municipalities, DTOP
2. Communicate with community members and stakeholders to prioritize retrofit projects.	Number of communication activities conducted, and level of stakeholder input gathered to prioritize retrofit projects.	Hold community meetings and collect feedback.	Leads: DNER, DTOP, municipalities Implementing partners: scientific community, community groups, Estuario	Pending	0-2 years	TBD	USEPA, DNER, municipalities, DTOP
3. Secure funding and regulatory approvals to then implement construction and installation.	Amount of funding secured, and number of regulatory approvals obtained for project implementation.	Secure required funding and regulatory approvals.	Leads: DNER, DTOP, municipalities Implementing partners: scientific community, community groups	Pending	5+ years	TBD	USEPA, DNER, municipalities, DTOP

672 **Regulatory and Policy Requirements**

673 Regular monitoring, emergency preparedness, and infrastructure redundancy measures must be
 674 implemented to meet regulatory performance and reliability standards.

675 ****NEW* Develop and implement a Stormwater Management Plan at the Watershed Level for the San Juan Metropolitan***
 676 ***Region.***

677 **Background**

678 The San Juan Metropolitan Region faces complex stormwater management challenges exacerbated by
 679 urbanization, aging infrastructure, and extreme weather events. Effective management of stormwater is
 680 essential to reduce runoff, flooding, improve water quality, and protect public health and ecosystems within
 681 this highly urbanized watershed. A comprehensive Stormwater Management Plan (SWMP) is critical to
 682 address these challenges systematically and sustainably.

683 One of the unique hydrologic phenomena in the region is flow reversal, where water flows backward
 684 through stormwater and wastewater channels, exacerbating flooding and deteriorating water quality.
 685 Understanding the causes, frequency, and impacts of flow reversals is a foundational step for informed
 686 management and infrastructure planning and design. This study will provide actionable recommendations
 687 to prevent and mitigate these issues, and improve resilience (DNER, 2016).

Accurate and up-to-date drainage maps and land cover data are vital tools for stormwater planning. The plan will incorporate updated drainage maps, assess and validate land cover information, potentially building upon existing resources such as the land cover map developed for the Economic Valuation Study, and the Puerto Rico Gap Analysis Project. These data layers will support precise modeling of stormwater flow, identification of vulnerable areas, and prioritization of infrastructure investments.

Stakeholder engagement is essential for successful plan development and implementation. Collaboration among DNER, PRASA, DTOP, municipalities, scientific community, and residents will ensure that the plan reflects diverse needs and secures necessary commitments for action.

The SWMP will align with the Puerto Rico Comprehensive Plan for Water Resources Management, integrating regulatory frameworks such as the MS4 permits and adhering to guidelines in the USEPA's Stormwater Pollution Prevention Plan (SWPPP) guidance. Additionally, the plan will be grounded in local regulatory instruments such as Regulation 40, establishing enforceable stormwater management standards (DNER, 2016; USEPA, 2023).

Monitoring and adaptive management will be integral components, enabling ongoing assessment of implemented measures and enabling adjustments to optimize outcomes. Through a phased approach encompassing assessment, planning, stakeholder engagement, implementation, and monitoring, the Stormwater Management Plan aims to significantly reduce flood risks, improve water quality, and enhance resilience in the San Juan Metropolitan Region.

Activities

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Conduct a study on flow reversals to understand their causes, frequency, and impacts on water quality and flooding.	Completion of a comprehensive study detailing causes, frequency, and impacts of flow reversals on water quality and flooding.	Finalize study and provide actionable recommendations.	Lead: Estuario Implementing partners: DNER, PRASA, DTOP, municipalities, scientific community, community groups	Pending	3-5 years	TBD	USEPA, DNER, municipalities, DTOP
2. Update drainage maps for the San Juan Metropolitan Region and develop and updated land cover map.	Completion of updated drainage and land cover maps incorporating recent data and field verification.	Deliver updated maps to stakeholders.	Lead: Estuario Implementing partners: DNER, PRASA, DTOP, municipalities, scientific community, community groups	Pending	0-2 years	TBD	USEPA, DNER, municipalities, DTOP

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
3. Create a georeferenced map of the entire stormwater management system.	Better data to manage the stormwater system.	Complete georeferenced map of the stormwater system.	Lead: Estuario Implementing partners: DNER, PRASA, DTOP, municipalities, scientific community, community groups	Pending	3-5 years	TBD	USEPA, DNER, municipalities, DTOP
4. Develop the SWMP with ample community participation in identifying main stressors and priorities.	Improved stormwater management.	Gather community input to improve stormwater management.	Lead: Estuario Implementing partners: DNER, PRASA, DTOP, municipalities, scientific community, community groups	Pending	5+ years	TBD	USEPA, DNER, municipalities, DTOP

Regulatory and Policy Requirements

Adherence to MS4 permit requirements and Regulation 40.

****NEW* Design and implement the necessary stormwater infrastructure retrofits in the Río Piedras Watershed to support the river's natural capacity to manage stormwater and prevent floods.***

Background

The Río Piedras watershed, a critical component of the SJBE, faces significant stormwater management challenges due to upstream deforestation and impermeabilization, aging infrastructure and increased flooding frequency. These challenges have compromised the river's natural capacity to regulate stormwater flows and mitigate flood events, leading to adverse impacts on local communities, water quality, and ecosystem health. A comprehensive and up-to-date understanding of existing hydrologic and hydraulic (H&H) conditions is essential to identify priority areas for targeted stormwater infrastructure retrofits that can restore and enhance the watershed's resilience.

The proposed action emphasizes the importance of green infrastructure interventions, which use natural processes such as infiltration, evapotranspiration, and storage to manage stormwater sustainably. Green infrastructure approaches not only reduce runoff volumes and peak flows but also improve water quality by filtering pollutants before they enter the river system (USEPA, 2021). Designing retrofit projects with a green infrastructure focus aligns with contemporary best practices in urban watershed management and supports the long-term health of the Río Piedras watershed.

Community involvement and stakeholder engagement are vital to the success and sustainability of retrofit efforts. By incorporating local knowledge, addressing community concerns, and fostering stewardship, these collaborative processes help ensure that interventions are contextually appropriate and widely supported (PRASA, 2020). Additionally, the development of a maintenance plan is critical to preserving the functionality and effectiveness of stormwater infrastructure over time.

This multi-phased approach—starting with a detailed H&H assessment, followed by green infrastructure-focused designs, community-engaged implementation, and maintenance planning—provides an integrated framework to reduce flood risks, enhance stormwater management, and protect ecological integrity within the Río Piedras watershed.

Activities

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Conduct an H&H assessment of the watershed to identify priority areas.	Completion of a H&H assessment report identifying priority areas for intervention.	Finalize H&H assessment.	Lead: DNER, PRASA, scientific community Implementing partners: municipalities, community groups, Estuario	Pending	3-5 years	TBD	USEPA, DNER, PRASA
2. Develop retrofit designs with a focus on green infrastructure.	Completion of retrofit design plans emphasizing green infrastructure solutions.	Finalize green infrastructure retrofit designs	Lead: DNER, PRASA, Estuario Implementing partners: municipalities, scientific community, community groups	Pending	3-5 years	TBD	USEPA, DNER, PRASA
3. Involve local communities and stakeholders in the planning and implementation process.	Number of community and stakeholder engagement events held and level of participant involvement.	Conduct engagement sessions with stakeholders.	Lead: Estuario, municipalities, community groups Implementing partners: DNER, PRASA, scientific community	Pending	0-2 years	TBD	USEPA, DNER, PRASA

Regulatory and Policy Requirements

None.

WS-12 Restore and Enhance Connectivity of riparian corridors along the SJBE tributaries.

Background

Riparian corridors are lands adjoining and immediately upgradient from rivers and streams that are vegetated with a combination of trees, shrubs, and herbaceous plants. These forested areas function, often simultaneously, as filters, transformers, and sinks for nutrients, sediments, organic materials, pesticides, and other detrimental substances normally carried by runoff into surface waters and ground water recharge areas. Riparian corridors provide stream bank stability and space for the natural adaptation and evolution of stream courses, which typically migrate slowly with time. These vegetated areas mitigate flood impacts by preserving part of the natural floodplain to accommodate high-water events. This in turn reduces the prevalence of nuisance drainage problems that frequently occur when development encroaches into the floodplain of a stream or river. In addition, riparian corridors have vegetation and soil

characteristics distinctly different from surrounding uplands and support higher levels of species diversity, species density, and rates of biological productivity than most other landscape elements. When continuous, riparian corridors provide an area for wildlife movement between distant and otherwise isolated forest patches. The extent of all of these benefits depends on the width of the buffer or corridor and the type, arrangement, and species of plants (Federal Interagency Stream Restoration Working Group, 1998; Natural Resources Conservation Service [NRCS], 1996).

In the SJBE watershed, many streams have been channelized due to recurring flooding caused by the wide extent of developed upland areas. Replacing riparian corridors with flood control structures (i.e., concrete channels) eliminates most of the benefits that these natural systems provide. For those streams that have not been confined to a concrete channel or culvert, regular removal of sediment and the vegetation found within the natural channels and their banks is a common practice employed to improve water flow; one that has significantly degraded or eliminated the functions provided by these forested areas. As a result, several areas in the SJBE have been dramatically affected, especially by sedimentation.

Activities

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Conduct a baseline assessment of existing riparian corridor conditions, identify gaps, and characterize flora species to develop planting plans.	Identified corridors for restoration based on existing conditions assessment.	Identify riparian corridors suitable for restoration.	Lead: DNER, United States Forestry Service (USFS), NRCS Implementing partners: municipalities, Estuario	Pending	0-2 years	TBD	DNER, USFS, NRCS
2. Develop enhancement and restoration measures based on the condition of selected riparian corridors.	Improved condition of riparian corridors.	Create and implement a restoration plan for riparian corridors.	Lead: DNER, USFS, NRCS Implementing partners: municipalities, Estuario	On Track	0-2 years	TBD	DNER, USFS, NRCS, municipalities
3. Establish maintenance plans for restoration work performed.	Improved condition of riparian corridors.	Develop and implement maintenance plans for restored riparian corridors.	Lead: DNER, USFS, NRCS Implementing partners: municipalities	Pending	3-5 years	TBD	DNER, USFS, NRCS, municipalities
4. Establish monitoring plans for restoration work performed.	Improved condition of riparian corridors.	Develop and implement monitoring plans for restored riparian corridors.	Lead: DNER, USFS, NRCS Implementing partners: municipalities, Estuario	Pending	3-5 years	TBD	DNER, USFS, NRCS, municipalities

Regulatory and Policy Requirements

Strengthen land-use regulations to prevent under permitted development in these regions. Enforce Bill 1439-24, which widens protected areas for riparian corridors.

***NEW* Restore and maintain the natural flow regimes of tributaries to maximize stormwater management potential.**

Background

The natural flow regimes of tributaries within the SJBW watershed are fundamental to stormwater management, water quality preservation, and ecosystem health. These flow patterns regulate sediment transport, nutrient cycling, and maintain connectivity between rivers and floodplains, which are essential for sustaining aquatic habitats and reducing flood risks. However, urban development, channel modifications, and installation of barriers such as culverts and dams have disrupted these natural hydrologic processes. These alterations reduce the tributaries' capacity to manage stormwater effectively and increase the frequency and severity of flooding events (Bauzá-Ortega, 2015).

Restoration efforts focusing on reestablishing natural channel morphology and reconnecting floodplains can enhance the watershed's ability to absorb and slow stormwater flows, thereby reducing peak flows and improving water quality (USEPA, 2021). Removing or retrofitting physical barriers that disrupt natural flow patterns is critical to restoring hydrologic and ecological connectivity, allowing for sediment transport and the migration of aquatic species, which contribute to the overall resilience of the watershed (PRASA, 2020).

Long-term monitoring programs are essential to evaluate the effectiveness of these restoration activities. Monitoring hydrologic parameters, stormwater management outcomes, and ecological health indicators enables adaptive management and ensures that restoration goals are met sustainably over time.

Collaboration among agencies is indispensable for the successful planning, implementation, and monitoring of restoration projects. These coordinated efforts will support the recovery of natural flow regimes, enhancing stormwater management and flood prevention within the SJBW watershed.

Activities

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Develop and implement restoration plans that prioritize the reestablishment of natural channel morphology and floodplain connectivity.	Completion and approval of restoration plans focused on natural channel morphology and floodplain connectivity.	Develop plans and implement restoration activities.	Lead: DNER, PRASA, scientific community, Estuario Implementing partners: municipalities, private utilities	Pending	3-5 years	TBD	USEPA, DNER, PRASA
2. Remove or retrofit existing barriers that disrupt natural flow patterns.	Number of barriers removed or retrofitted to restore natural flow patterns.	Remove or retrofit identified flow-disruption barriers.	Lead: DNER, PRASA, private utilities Implementing partners: municipalities	Pending	5+ years	TBD	USEPA, DNER, PRASA, State Revolving Fund

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
3. Create long-term monitoring projects to evaluate flow recovery, stormwater benefits, and ecological health.	Establishment of a long-term monitoring program with defined indicators for flow recovery, stormwater management, and ecological health.	Launch monitoring project.	Lead: DNER, PRASA Implementing partners: municipalities, private utilities, Estuario	Pending	5+ years	TBD	USEPA, DNER, PRASA

786 **Regulatory and Policy Requirements**

787 None.

788 ***WS-16 Develop and Issue NPDES Permits to Regulate Stormwater Discharges in Urbanized Areas of the SJBE Watershed, Such as Condado Beach, that Contribute Stormwater Point Source Discharges to the System and its Tributaries.***

790 **Background**

791 The SJBE watershed encompasses a diverse range of urbanized areas that contribute to stormwater point
792 source discharges. The regulation of these discharges is critical for maintaining the ecological integrity of the
793 estuarine system and its tributaries, which are vulnerable to pollution from urban runoff. To address these
794 issues, the NPDES permits need to be developed and issued to regulate stormwater discharges from MS4s
795 in the watershed.

796 Under the Clean Water Act, USEPA established regulations aimed at minimizing, reducing, controlling, and
797 eliminating discharges of contaminated stormwater through storm sewer systems. MS4s, which collect and
798 convey stormwater runoff from urbanized areas, are required to obtain NPDES permits to ensure that their
799 discharges do not adversely affect water quality in receiving waters.

800 The SJBE watershed is characterized by its urbanized landscape, which includes residential, commercial, and
801 industrial areas. This urbanization leads to increased impervious surfaces, such as roads and buildings,
802 which contribute to the rapid accumulation of stormwater runoff. This runoff can contain pollutants that
803 can degrade water quality and harm the estuarine system.

804 The issuance of NPDES permits for MS4s in the SJBE watershed will need to be guided by a comprehensive
805 understanding of local hydrology, land use patterns, and existing water quality conditions. This regulatory
806 framework will facilitate the development of tailored stormwater management strategies that address the
807 specific challenges faced by urbanized areas within the watershed.

808 **Activities**

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Conduct a stormwater system assessment to identify gaps and maintenance needs.	Complete a comprehensive stormwater system assessment report detailing infrastructure gaps and maintenance requirements.	Finalize assessment of the stormwater system.	Lead: PRASA, municipalities Implementing partners: DNER private utilities, Estuario	Pending	2-3 years	TBD	USEPA, State Revolving Fund, DNER
2. Support jurisdictions in designing stormwater infrastructure using green infrastructure techniques.	Number of jurisdictions supported with green infrastructure design assistance and quality of design plans produced.	Provide technical support to jurisdictions to result in green infrastructure designs being adopted.	Lead: DNER Implementing partners: PRASA, municipalities, private utilities, Estuario	Pending	3-5 years	TBD	USEPA, State Revolving Fund, DNER
3. Develop and issue NPDES permits for MS4s within the SJBE watershed.	Number of NPDES permits issued and compliance rate among operators.	Permit compliance within the watershed.	Lead: DNER Implementing partners: PRASA, municipalities, private utilities	Pending	3-5 years	TBD	USEPA, State Revolving Fund, DNER
4. Advance the development and implementation of best management practices (BMPs) by MS4 operations to control stormwater discharges.	Effectiveness of BMPs in reducing pollutants.	Implement BMPs within the watershed.	Lead: DNER Implementing partners: PRASA, municipalities, private utilities	Pending	3-5 years	TBD	USEPA, DNER
5. Facilitate regional collaboration for shared resources.	Number of regional collaboration meetings held and shared resource agreements established.	Organized collaboration meetings.	Lead: Estuario, DNER Implementing partners: PRASA, municipalities, private utilities	Pending	2-3 years	TBD	USEPA, State Revolving Fund, DNER

809 **Regulatory and Policy Requirements**

810 MS4 discharges are regulated under the Clean Water Act. Pursuant to this act, USEPA issued regulations
811 under the NPDES program to minimize, reduce, control, and/or eliminate discharges of contaminated
812 stormwater through storm sewers. Permit compliance is needed to reduce stormwater impacts.

GI-01 Validate and implement the Master Plan for Green Infrastructure in the SJBE Watershed.**Background**

The SJBE faces significant challenges due to urbanization, extreme events, sea level rise, and inadequate stormwater management practices. Stormwater runoff is a major cause of water pollution in urban areas, as rain falling on roofs, streets, and parking lots cannot permeate the ground. Instead, it is channeled through gutters and storm sewers, ultimately discharging into nearby waterbodies, carrying trash, bacteria, heavy metals, and other pollutants. This situation exacerbates flooding and degrades water quality, highlighting the urgent need for a comprehensive master plan for green infrastructure that incorporates BMPs such as rain gardens, green rooftops, and dunes.

Green infrastructure, as defined in Section 502 of the Clean Water Act, encompasses "the range of measures that use plant or soil systems, permeable pavement or other permeable surfaces or substrates, stormwater harvest and reuse, or landscaping to store, infiltrate, or evapotranspiration stormwater and reduce flows to sewer systems or to surface waters" (USEPA, 2021). This approach is cost-effective and resilient, providing numerous community benefits by managing storm impacts while delivering environmental, social, and economic advantages. Unlike traditional gray infrastructure, which is designed solely to move stormwater away from urban areas, green infrastructure reduces and treats stormwater at its source, mitigating the adverse effects of runoff.

Research conducted in the Caño Martín Peña community has demonstrated the potential effectiveness of green infrastructure. For example, a rain garden constructed at the Albert Einstein High School in San Juan showcased how natural systems can absorb and filter stormwater, thereby controlling runoff and improving water quality. The preliminary results indicated that properly designed rain gardens can help manage stormwater effectively, even in areas with high rainfall and tropical conditions, like the SJBE (USEPA, 2015).

To effectively implement a master plan, it will be crucial to engage local communities and stakeholders in the planning and execution of pilot projects. Community involvement not only fosters a sense of stewardship but also enhances the effectiveness of green infrastructure initiatives.

The master plan must consider the regulatory context and existing infrastructure challenges. The legal and institutional priorities guiding stormwater infrastructure in Puerto Rico, including various consent decrees, should inform the development of the plan to ensure compliance with federal water quality standards. Addressing gaps in existing infrastructure, particularly in underserved areas lacking formal stormwater systems, will be essential for the success of green infrastructure projects.

Moving forward, the next critical steps involve validating the Green Infrastructure Master Plan with responsible agencies and stakeholders, including DNER, PRASA, municipalities, and community groups. This validation process will ensure alignment with ongoing regulatory frameworks, operational capabilities, and local priorities. Engaging these entities early will facilitate coordinated implementation, resource allocation, and monitoring strategies, thereby enhancing the feasibility and impact of the Green Infrastructure Master Plan.

849 **Activities**

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Validate the Green Infrastructure Master Plan.	Completion of a validation report confirming the accuracy, feasibility, and stakeholder acceptance of the Green Infrastructure Master Plan.	Conduct validation activities.	Lead: Estuario Implementing partners: PRASA, DNER, municipalities, academia	Pending	0-2 years	TBD	USEPA, State Revolving Fund, DNER
2. Assess existing stormwater management practices and identify gaps where green infrastructure could be successful.	Identification of areas lacking infrastructure and current conditions.	Identify priority areas for green infrastructure implementation.	Lead: Estuario Implementing partners: PRASA, DNER, municipalities, academia	Pending	3-5 years	TBD	USEPA, State Revolving Fund, DNER
3. Engage local communities and stakeholders in the master plan drafting process.	Community engagement and feedback collected.	Conduct community engagement events.	Lead: Estuario, Implementing partners: PRASA, DNER, municipalities, academia	Pending	0-2 years	TBD	USEPA, State Revolving Fund, DNER
4. Implement projects as part of the master plan.	Readiness for implementation based on master plan and community guidance.	Move forward with projects that are ready for implementation.	Lead: PRASA, municipalities Implementing partners: DNER, Estuario, academia	Pending	3-5 years	TBD	USEPA, State Revolving Fund, DNER
5. Measure the engineering performance of green infrastructure.	Quantitative data on infiltration rates, runoff reduction, and pollutant removal efficiency from installed green infrastructure sites.	Collect and analyze performance data quarterly.	Lead: PRASA, DNER Implementing partners: municipalities, academia	Pending	0-2 years	TBD	USEPA, State Revolving Fund, DNER

850 **Regulatory and Policy Requirements**

851 None.

****NEW-1* Work with the legislature, agencies, municipalities, and private developers to spur the development of LEED-certified developments***

Background

Sustainable development practices have become increasingly essential in urban regions to reduce environmental impacts, improve energy efficiency, and enhance community well-being. The SJBE watershed and surrounding area is experiencing rapid urban growth and development pressures, which presents a significant opportunity to integrate green building practices into new construction projects. Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) certification provides a widely recognized framework for promoting environmentally responsible construction and operation, emphasizing energy efficiency, water conservation, sustainable materials, and indoor environmental quality (U.S. Green Building Council [USGBC], 2023).

New construction projects adhering to LEED standards can substantially reduce the ecological footprint of urban development by minimizing resource use and mitigating pollution, thereby supporting the broader goals of watershed protection and climate resilience in the SJBE system. Increasing the number of LEED-accredited professionals locally is crucial, as it builds technical capacity and expertise to guide developers through the certification process.

Collaborative efforts with planning and regulatory agencies to integrate LEED requirements into zoning laws and building codes can institutionalize sustainable building practices, ensuring that new developments contribute to environmental goals from the outset. Additionally, well-designed incentive programs targeting developers can motivate the adoption of LEED certification by offsetting costs and highlighting long-term economic benefits (USEPA, 2016).

Providing technical assistance, sharing best practices, and fostering coordination among stakeholders, including government agencies, developers, academia, and communities will facilitate knowledge transfer and capacity building. These efforts collectively encourage the development of LEED-certified projects that align with regional sustainability objectives and promote healthy, resilient communities.

Activities

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Increase the number of LEED-accredited individuals in the SJBE region.	Number of new LEED-accredited professionals certified within the SJBE region.	Increase LEED-accredited individuals.	Lead: DNER Implementing partners: municipalities, developers, academia, scientific community	Pending	5+ years	TBD	USEPA, State Revolving Fund, academia

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
2. Collaborate with planning and regulatory agencies to integrate LEED requirements into zoning and code requirements.	Number of planning and regulatory agencies engaged and formal adoption of LEED requirements into zoning and building codes.	Collaborate with key agencies.	Lead: DNER, Estuario Implementing partners: municipalities, developers, academia, scientific community	Pending	3-5 years	TBD	USEPA, DNER, State Revolving Fund, municipalities
3. Develop incentives to encourage developers to pursue LEED certifications for new projects.	Creation and adoption of incentive programs targeted at developers for LEED certification.	Design and implement incentive programs.	Lead: DNER Implementing partners: municipalities, developers, academia, scientific community	Pending	3-5 years	TBD	USEPA, DNER, State Revolving Fund, municipalities
4. Coordinate efforts, share best practices, and provide technical assistance for stakeholders regarding LEED project development.	Number of coordination meetings held, best practices shared, and technical assistance sessions conducted for stakeholders.	Conduct coordination meetings.	Lead: DNER, Estuario Implementing partners: municipalities, developers, academia, scientific community	Pending	0-2 years	TBD	USEPA, DNER, State Revolving Fund, municipalities

Regulatory and Policy Requirements

Adherence to local zoning ordinances, building codes, and permitting processes is needed.

****NEW-2* Develop and implement a project to support private property owners implement green infrastructure practices to increase their permeability, such as green roofs and permeable pavement.***

Background

Urban areas within the SJBE watershed face significant challenges related to stormwater runoff and impervious surfaces on private properties. Existing residential developments often feature rooftops, driveways, and patios composed of impervious materials that prevent natural infiltration of rainwater, leading to increased stormwater runoff, localized flooding, and pollutant transport into the watershed. Addressing stormwater management at the private property level is critical to complement public infrastructure improvements and reduce watershed-wide impacts.

Green infrastructure practices such as green roofs, permeable pavements, rain gardens, and bioswales offer effective solutions for increasing permeability on private properties. These features mimic natural processes by capturing, infiltrating, and filtering stormwater onsite, thereby reducing runoff volume, mitigating flood risks, and improving water quality (USEPA, 2021). Despite the benefits, the adoption of green infrastructure by private homeowners remains limited due to lack of awareness, technical knowledge, and financial barriers.

895 Implementing a project to support private property owners in adopting green infrastructure requires
 896 comprehensive education and outreach efforts. Informing residents about the environmental, economic,
 897 and aesthetic benefits of these practices can foster community engagement and stewardship. Providing
 898 accessible technical guides and resources further empowers property owners to install and maintain green
 899 infrastructure effectively.

900 An important component of this initiative includes installing stormwater meters on private properties to
 901 accurately measure stormwater quantity. These meters provide valuable data that help assess the
 902 effectiveness of green infrastructure installations, inform adaptive management, and support research on
 903 urban hydrology at the property scale.

904 Crucially, establishing financial incentives or assistance programs can overcome cost-related obstacles,
 905 encouraging wider adoption of stormwater-friendly practices on private lands. Such programs have been
 906 shown to increase participation rates and maximize environmental benefits within urban watersheds
 907 (USGBC, 2023).

908 By targeting existing residential properties for green infrastructure implementation, this action
 909 complements regional stormwater management strategies, enhances urban resilience, and contributes to
 910 the restoration and protection of the SJBE watershed.

911 Activities

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Develop and distribute technical guides and resources on installing and maintaining green infrastructure features.	Number of technical guides developed and distributed, and user engagement metrics.	Produce and distribute comprehensive technical guides.	Lead: DNER, Estuario Implementing partners: municipalities, scientific community, academia, local community groups	Pending	0-2 years	TBD	USEPA, DNER
2. Conduct education and outreach campaigns to inform private property owners about the benefits of green infrastructure practices.	Number of education and outreach events held, and quantity of informational materials distributed to private property owners.	Conduct outreach events.	Lead: DNER, Estuario Implementing partners: municipalities, scientific community, academia, local community groups	Pending	0-2 years	TBD	USEPA, DNER

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
3. Establish financial incentives or assistance programs to incentivize green infrastructure installation.	Number of financial incentive programs established, and amount of funding allocated for green infrastructure installations.	Launch financial incentive programs.	Lead: Legislature, DNER, Estuario Implementing partners: municipalities, scientific community, academia, local community groups	Pending	3-5 years	TBD	USEPA, DNER

Regulatory and Policy Requirements

Adherence to local zoning ordinances, building codes, and permitting processes is needed.

****NEW-3* Conduct a study to evaluate the frequency and duration of flow reversals due to stormwater runoff to improve mass balance estimates.***

Background

The large inputs of stormwater runoff into the SJBE system can reverse normal tidal flows, which is a critical concern for maintaining the ecological integrity of the estuary. This reversal occurs when the rapid flow of stormwater creates significant pressure which overwhelms the natural tidal exchange. The exact runoff threshold that triggers these flow reversals is not well-defined; however, historical data indicate that rainfall intensities with a return frequency of one year can significantly impact flow dynamics (Gómez Gómez et al., 1983). Understanding these thresholds is essential for effective water management and ecological protection.

The phenomenon of flow reversal complicates the understanding of the SJBE system because it affects the movement of pollutants within the estuary. During periods of high runoff, the rapid flow of stormwater into the system can lead to backflows, which may bring pollutants into the estuary rather than allowing for their proper drainage away from the estuarine system. This situation poses risks not only to water quality but also to the ecological functions of the estuary, as the reversal of flows can disrupt the natural habitat and the health of aquatic organisms (Lugo and Bauzá Ortega, 2024).

As sea levels rise, the potential for backflows into the stormwater system increases, especially during high tide events or significant rainfall. Elevated sea levels can exacerbate the frequency and duration of flow reversals, making it even more critical to evaluate and understand these dynamics.

Identifying specific areas where stormwater runoff is causing flow reversals will be instrumental in developing targeted management strategies. This information can help inform infrastructure improvements, such as the installation of backflow prevention devices, and guide the implementation of green infrastructure solutions designed to manage runoff more effectively.

937 **Activities**

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Develop a stormwater flow reversals study and collect additional data.	Improved data to evaluate stormwater flow reversal impacts.	Complete a stormwater flow and reversals study.	Lead: Estuario Implementing partners: Academia, scientific community, local organizations	Pending	0-2 years	TBD	USEPA, DNER
2. Share a report with findings and recommendations for potential projects.	Improved data to evaluate stormwater flow reversal impacts.	Report on potential projects.	Lead: Estuario Implementing partners: Academia, scientific community, local organizations	Pending	3-5 years	TBD	USEPA, DNER
3. Implement project recommendations from study.	Reduced impacts to the SJBE system from stormwater flow reversals.	Execute priority project recommendations from the study.	Lead: DNER, DTOP Implementing partners: municipalities	Pending	5+ years	TBD	USEPA, State Revolving Fund, DNER

938 **Regulatory and Policy Requirements**

939 None.

940 ****NEW-4* Update and enhance comprehensive drainage maps of the SJBE watershed.***941 **Background**

942 The SJBE watershed has undergone a high level of development, significantly increasing its susceptibility to
 943 flooding, particularly during periods of heavy rainfall and extreme weather events. Urbanization has led to a
 944 proliferation of impervious surfaces, such as roads, buildings, and paved areas, which prevent rainwater
 945 from infiltrating the ground. As a result, larger volumes of stormwater runoff are generated, overwhelming
 946 the natural drainage capacity of the watershed. This runoff not only contributes to flooding but also carries
 947 a host of pollutants that can exceed the estuary's ability to filter and manage contaminants effectively.
 948 Consequently, these pollutants can enter the SJBE and affect its ecological functions for months or even
 949 years (Lugo and Bauzá Ortega, 2024).

950 In light of these challenges, updating and enhancing comprehensive drainage maps of the SJBE watershed is
 951 essential for effective water management and flood mitigation strategies. Accurate and detailed drainage
 952 maps provide critical information about the existing stormwater infrastructure, including drainage patterns,
 953 flow paths, and areas prone to flooding. Enhanced drainage maps can facilitate better planning and
 954 decision-making processes. They can serve as valuable tools for urban planners and environmental
 955 managers to assess the impacts of new developments on stormwater runoff and to implement sustainable
 956 land-use practices that minimize environmental degradation. Additionally, updated maps can help in the
 957 identification of key areas where natural features, such as wetlands and riparian buffers, can be preserved
 958 or restored to enhance stormwater management.

The process of updating drainage maps should involve community engagement and input from local stakeholders. Involving residents, community organizations, and businesses in the mapping process can provide valuable insights into local drainage issues and enhance public awareness of stormwater management challenges.

Activities

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Gather existing drainage maps and data to create a geodatabase.	Comprehensive database of existing drainage information.	Compiled database.	Lead: PRASA, DNER Implementing partners: Academia, scientific community, municipalities, Estuario	Pending	0-2 years	TBD	DNER, PRASA, municipalities
2. Conduct surveys to verify data and collect new information.	Improved data on drainage in the watershed.	Complete field surveys.	Lead: PRASA, DNER Implementing partners: Academia, scientific community, municipalities	Pending	0-2 years	TBD	USEPA, DNER, PRASA, municipalities
3. Publish updated maps and findings.	Shared knowledge for decision making on stormwater management.	Create and distribute findings report to stakeholders.	Lead: PRASA, DNER Implementing partners: Academia, scientific community, municipalities, Estuario	Pending	3-5 years	TBD	DNER, PRASA, municipalities

Regulatory and Policy Requirements

None.

****NEW-5* Develop and implement urban BMPs to reduce Flooding events and pollutants Entering the SJBE Via Stormwater.***

Background

Stormwater runoff from urban areas carries pollutants that affect surface waters and groundwater. These pollutants include nutrients, pesticides, pet waste, oil and grease, debris and litter, and sediments. There are a variety of BMPs that can be used to capture and treat stormwater to remove or reduce these pollutants before the stormwater runoff reaches a waterbody or infiltrates to the groundwater. These practices include more traditional methods such as wet detention ponds, retention, and swales; green infrastructure such as bioswales, rain gardens, green roofs, and permeable pavement; and innovative methods that use media or chemicals like alum to help with nutrient removal. BMPs can also be used to help attenuate large volumes of

stormwater to decrease the amount of stormwater runoff reaching a waterbody at one time. Identifying appropriate BMPs to address stormwater management and treatment needs specific to each area of the SJBE watershed will help to improve the SJBE ecosystem and support communities currently affected by flooding.

The need for effective BMPs is underscored by the impacts of urbanization on runoff dynamics. As noted by Burgos-Lopez (2025), "impervious surfaces have replaced previously found infiltration zones in open natural spaces and vacant lots, leading to an increase in stormwater runoff." This urban development creates a significant challenge for stormwater management, as runoff management is often transferred to public entities, such as MS4s, despite much of the runoff originating from privately developed properties. This disparity highlights why this action is needed, and the necessity for policies that enforce accountability and promote sustainable urban development practices.

Furthermore, current planning tools, such as the Puerto Rico Land Use Plan, often fail to recognize the hydrological and ecological contributions of pervious surfaces, categorizing them uniformly as "urban land." This oversimplification neglects the critical roles these surfaces play in managing runoff and mitigating flooding. As a result, there is a pressing need for improved policies that acknowledge the contributions of various land types and enhance green infrastructure in urban planning.

The role of transportation infrastructure also cannot be overlooked, as roads and highways significantly contribute to stormwater runoff and environmental degradation. As highlighted Burgos-Lopez's findings, "transportation infrastructure also plays a significant role in shaping urban dynamics," underscoring the need for integrated planning that includes green infrastructure solutions (2025).

Activities

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Assess current urban and agricultural practices to identify additional needs.	Identified locations where stormwater BMPs are needed.	Assess urban and agricultural sites.	Lead: Puerto Rico Department of Agriculture (PRDA), United States Department of Agriculture (USDA) Implementing partners: agricultural landowners, municipalities, academia, scientific community	Pending	0-2 years	TBD	USEPA, municipalities PRDA, USDA

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
2. Develop a plan for BMP implementation in urban and agricultural areas with the greatest need.	Prioritized list of BMP priorities.	Create a list of BMPs for urban and agricultural areas.	Lead: PRDA, USDA, Estuario Implementing partners: Academia, scientific community, agricultural landowners, municipalities	Pending	3-5 years	TBD	USEPA, municipalities, PRDA, USDA
3. Implement BMPs in identified high priority areas.	Reduced stormwater runoff impacts in the SJBE watershed.	Install priority areas.	Lead: PRDA, USDA Implementing partners: Municipalities	Pending	5+ years	TBD	USEPA, PRDA, USDA

Regulatory and Policy Requirements

Modifications may be needed to local codes and ordinances to allow for the implementation of more innovative and green stormwater BMPs.

****NEW-6* Include the De Diego Flood Control Pumping Station as a discharge point under the NPDES permit.***

Background

The De Diego Flood Control Pumping Station (FCPS), located at the intersection of Julian Blanco Street and Estrella Street Marginal (State Road PR-26) in San Juan plays a significant role in managing stormwater flow within the San Juan Metropolitan Area. This facility discharges stormwater into the receiving waters at Condado Beach, a sensitive coastal zone within the estuary.

In a 2014 complaint, USEPA alleged that DNER was discharging pollutants without a permit from its De Diego, Baldorioty de Castro, and Stop 18 stormwater pump stations. These pump stations, including De Diego, were designed to control flooding by pumping large volumes of stormwater into receiving waters but have been receiving flows containing untreated sewage (U.S. Department of Justice [USDOJ], 2015).

The agreement with DNER requires an estimated \$33 million investment to upgrade its system over the life of the settlement, specifically including the De Diego FCPS. Upgrades include obtaining proper permits, implementing a Stormwater Management Program, installing and maintaining warning signs and booms at pump station outfalls, routine cleaning and maintenance, developing sludge sampling and disposal methods, and creating spill prevention and response plans (USDOJ, 2015). Additionally, DNER must install electronic monitoring equipment and lighting fixtures at pump station wet wells and pay \$650,000 annually into a Court Registry Account to support work plans for collection systems flowing to these pump stations, including De Diego.

Recent analyses of water samples collected at the inlet of the De Diego FCPS from 2015 through 2024 reveal consistent indicators of contamination, including high levels of fecal coliforms and enterococci, which significantly exceed Puerto Rico water quality standards for coastal waters (Martínez, 2024). Chemical

contaminants such as copper were also detected at concentrations exceeding the coastal water regulatory limits, underscoring the contamination potential of the incoming stormwater (Martínez, 2024).

Despite these findings, data on the water quality at the discharge point itself and discharge volumes are lacking, impeding a comprehensive assessment of the impact of the De Diego FCPS discharges on the SJBE. The absence of discharge point sampling and flow data limits the evaluation of pollutant loadings and their potential effects on the estuarine ecosystem. Incorporating this facility into the NPDES framework will enable systematic monitoring and management of discharges, ensuring compliance with water quality standards and protection of the estuary's aquatic life and recreational uses.

Activities

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Submit petition to include the pumping station in the permit.	Completion of petition.	Submitted petition.	Lead: Estuario Implementing partners: DNER, regulatory agencies	Pending	0-2 years	TBD	USEPA
2. Obtain approval for the petition.	Priority actions to get an approved petition.	Approved petition.	Lead: USEPA Implementing partner: DNER	Pending	0-2 years	TBD	USEPA, DNER
3. Monitor the new discharge point.	Collected data from discharge point.	Pumping station included in NPDES permit.	Lead: DNER Implementing partners: USEPA, Estuario	Pending	5+ years	TBD	USEPA, DNER

Regulatory and Policy Requirements

USEPA approval is required to include the De Diego FCPS in the NPDES permit modification.

References

- Bauzá-Ortega J. 2015. San Juan Bay Estuary Climate Change Adaptation Plan. San Juan, PR: San Juan Bay Estuary Program.
- Burgos-López, C. 2025. Understanding Urban Surfaces: Nature-Based Solutions (NbS) for Stormwater Management. *Journal of Water Resource and Protection*, 17, 307-321.
<https://doi.org/10.4236/jwarp.2025.175015>.
- DNER. 2020. Puerto Rico Comprehensive Plan for Water Resources Management.
<https://www.drna.pr.gov/oficinas/plan-integral-de-recursos-de-agua-de-puerto-rico/>.
- DNER. October 2016. Stormwater Management Program (SWMP). https://www.drna.pr.gov/wp-content/uploads/2017/04/DNER-MS4-SWMP-10-27-16_FINAL-SIGNED.pdf.
- Estuario. N.D. Estuario Land Use Plan. <https://estuario.org/uso-de-terrenos/>.
- Lugo, A.E. and J.F. Bauzá Ortega. 2024. San Juan Bay Estuary: Research History and Opportunities. EPA/600/R-23/308.

- 1045 Martínez, G. 2024. University of Puerto Rico, Mayagüez Campus. De Diego Water Pump Report.
1046 <https://estuario.org/wp-content/uploads/2025/05/UPR-De-Diego-pump-report-9-6-24-compressed.pdf>.
- 1047 Proyecto ENLACE. Caño Martín Peña Comprehensive Infrastructure Master Plan. 2022.
1048 [https://issuu.com/canomartinpenna/docs/20220902-plan_maestro_integral_infraestructura-](https://issuu.com/canomartinpenna/docs/20220902-plan_maestro_integral_infraestructura-_re?fr=xKAE9_zU1NQ)
1049 [_re?fr=xKAE9_zU1NQ](https://issuu.com/canomartinpenna/docs/20220902-plan_maestro_integral_infraestructura-_re?fr=xKAE9_zU1NQ).
- 1050 Ramírez, A., A. Engman, K. G. Rosas, O. Perez Reyes, and D. M. Martinó cardona. 2012. Urban impacts on
1051 tropical island streams: some key aspects influencing ecosystem response. *Urban Ecosystems* 15:315-325.
- 1052 Santos Flores C.J., and Martínez-Rodríguez A. 2020. A Preliminary Characterization of the Plankton of San
1053 José Lagoon, Puerto Rico.
- 1054 USACE. 2023. Rio Puerto Nuevo Flood Damage Reduction Project.
1055 <https://www.saj.usace.army.mil/About/Divisions-Offices/Antilles-Office/Rio-Puerto-Nuevo/>.
- 1056 USGBC. 2023. LEED Rating System. <https://www.usgbc.org/leed>.
- 1057 United States of America v. The Municipality of San Juan, The Puerto Rico Department of Natural and
1058 Environmental Resources, the Puerto Rico Department of Transportation and Public Works, The Puerto Rico
1059 Highway and Transportation Authority, and The Commonwealth of Puerto Rico. Consent Decree. October
1060 2015. https://estuario.org/wp-content/uploads/2020/10/united_states_v._san_juan_municipality_of.pdf
- 1061 USDOJ. 2015. Puerto Rico's Government to Make Major Upgrades to San Juan Water Infrastructure in
1062 Settlement with the Federal Government. [https://www.justice.gov/archives/opa/pr/puerto-rico-s-](https://www.justice.gov/archives/opa/pr/puerto-rico-s-government-make-major-upgrades-san-juan-water-infrastructure-settlement-federal)
1063 [government-make-major-upgrades-san-juan-water-infrastructure-settlement-federal](https://www.justice.gov/archives/opa/pr/puerto-rico-s-government-make-major-upgrades-san-juan-water-infrastructure-settlement-federal).
- 1064 USEPA. 2023. Developing a Stormwater Pollution Prevention Plan (SWPPP).
1065 <https://www.epa.gov/npdes/developing-stormwater-pollution-prevention-plan-swppp>.
- 1066 USEPA. 2021. What is Green Infrastructure? Accessed at: [https://19january2021snapshot.epa.gov/green-](https://19january2021snapshot.epa.gov/green-infrastructure/what-green-infrastructure.html)
1067 [infrastructure/what-green-infrastructure.html](https://19january2021snapshot.epa.gov/green-infrastructure/what-green-infrastructure.html).
- 1068 USEPA. 2016. Green Building. <https://archive.epa.gov/greenbuilding/web/html/>.
- 1069 USEPA. 2015. Researching Green Infrastructure in Tropical Climates. Accessed at: [https://www.epa.gov/eo-](https://www.epa.gov/eo-research/researching-green-infrastructure-tropical-climates)
1070 [research/researching-green-infrastructure-tropical-climates](https://www.epa.gov/eo-research/researching-green-infrastructure-tropical-climates).
- 1071 Webb, R. M. T., and F. Gómez Gómez 1998. Synoptic survey of water quality and bottom sediments, San Juan
1072 Bay estuary system, Puerto Rico, December 1994-July 1995. Water Resources Investigations Report 97-4144.
1073 U.S. Geological Survey, San Juan, PR.

Infrastructure to Mitigate Erosion and Sediment Transport

Baseline

Sediment transfer to estuaries is a natural process; however, erosion, which is the detachment and movement of soil or rock particles by water, wind, or other natural forces, is a key factor influencing sediment generation and transport (USDA, 2017). In urban settings, erosion is often accelerated by human activities that disturb the land surface, making it highly relevant to sediment management in the SJBE. Anthropogenic influences have dramatically altered both the quantity and quality of sediments entering the SJBE.

Rivers, streams, surface runoff, and point source discharges contribute sediments to the SJBE. When excessive sedimentation occurs in a waterbody, the functional values of the system may become impaired. Sediments are capable of modifying the water column in ways that inhibit important biological functions (photosynthesis, nitrogen fixation, and migration). It is therefore important to evaluate the role that sediments play in determining the productivity and diversity of the system. Sediments suspended in the water column attenuate light transmission while reducing or inhibiting the primary productivity of the system. When excessive sediment loads enter estuary waters, corals, seagrasses, and algae become buried and die off. The detritus from this process forms sediments that consume oxygen and release the nutrients back into the water column, causing HABs and leading to a decline in overall system health.

Land use and land cover changes, particularly urbanization characterized by highly altered urban features such as impervious surfaces, drastically modifying natural hydrological processes. These changes reduce infiltration, increase surface runoff, and enhance erosion and sediment transport into waterbodies. Stormwater management practices governed by regulations such as Puerto Rico's Regulation 40 play a critical role in controlling erosion and sedimentation by mandating BMPs that mitigate runoff and soil loss (DNER, 2019). Integration of these regulatory frameworks with land use planning is essential to control sediment generation at its source.

The proliferation of impervious surfaces, such as roads and buildings, exacerbates these issues by increasing runoff and reducing the natural absorption of rainfall, leading to accelerated erosion and sediment transport. In addition, the lack of adequate stormwater management infrastructure coupled with altered land use and land cover intensifies soil erosion and sediment delivery to the estuary, undermining ecosystem health and increasing flood risks.

Urbanization, topographic modifications, and deforestation have significantly increased the deposition of organic materials, nutrients, heavy metals, and other contaminants, diminished water clarity and adversely impacting aquatic life. These pollutants create conditions detrimental to the growth of seagrass, shellfish, and benthic invertebrates, resulting in mucky sediments that can consume oxygen and release nutrients back into the water column. This nutrient flux contributes to HABs, hypoxic conditions, and fish kills, particularly under anaerobic conditions where orthophosphate, nitrates, and trace metals may enter the water.

The SJBE has suffered from severe degradation, exacerbated by rapid urbanization since the mid-20th century. Historically, urban development in Puerto Rico was marked by rapid expansion with limited environmental oversight, resulting in widespread deforestation, soil disturbance, and poorly planned infrastructure (Martinuzzi et al., 2007). Many communities developed informally without adequate

stormwater and erosion control measures, leading to increased sediment loads in waterways. This legacy continues to impact erosion and sediment transport dynamics in the watershed today

The construction of substandard housing in sensitive mangrove wetlands has led to the accumulation of sediment, debris, and waste, obstructing the hydraulic flow between the San José Lagoon and the San Juan Bay. The eastern half of the Caño Martín Peña, once historically 200 to 400 feet wide, is now severely compromised, clogged with sediments and pollutants that hinder its ecological function (Brodine, 2017).

Effective management of erosion and sediment transport is essential for maintaining the ecological health and functional integrity of the SJBE. This approach is vital for restoring the channel's capacity to transport sediments and contaminants effectively, thereby enhancing water quality and habitat conditions across the estuary. There is a connection between urban development patterns, stormwater management effectiveness, and erosion and sediment transport within the watershed. Poorly managed urban runoff can increase erosion rates, which in turn can elevate sediment loads entering the estuary, degrading water quality and aquatic habitats. Effective stormwater management, including erosion control measures, is therefore crucial to breaking this cycle and promoting estuarine restoration and resilience.

Objectives

- Manage sediments and contaminants reaching the estuarine system from topographical modifications, increased impervious areas, and deforestation.
- Reduce topographical modifications, impervious areas, and deforestation.

Actions

WS-09 Minimize sediment loading into the SJBE.

Background

Aquatic species are strained by the effects of urbanization on the aquatic habitats, especially in the rivers and tributaries within the SJBE. Scouring modifies depth and channel width, increases sediment deposition, and creates changes in temperature and water chemistry (Ramírez et al., 2009, 2012). Sediment management is a critical component for maintaining the ecological health and functional integrity of the SJBE system.

Hundreds of millions of dollars are proposed for dredging to restore the SJBE waters as a result of sediments and trash discharges (Coto, 2024). This is the most expensive way to address sediment transport. The least expensive method is to eliminate sediments from being discharged through stabilization and maintenance. Street sweeping to remove sediments before they reach the stormwater system is another BMP that reduces the need for higher cost maintenance within stormwater systems before sediments are discharged to the SJBE, where they are most impactful to the environment and most costly to remove.

To effectively minimize sediment loading into the SJBE, informed decision-making regarding land use management and development is essential. Modeling plays a pivotal role in this process by providing a scientific basis for predicting the impacts of various land use scenarios on sediment dynamics. Models can help identify critical areas where sediment loading is likely to be exacerbated due to land use changes. They can also assess the effectiveness of potential mitigation strategies, such as implementing BMPs or modifying development permits to minimize impervious surfaces.

1152 **Activities**

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Assess current sediment sources and sedimentation rates within the SJBE boundary.	Improved information on sources and mass.	Assess identified sediment sources and sedimentation rates.	Lead: DNER, Estuario Implementing partners: Academia, scientific community	On Track	0-2 years	TBD	DNER, USEPA
2. Collaborate with stakeholders to develop BMPs for erosion control measures.	Reduced sediment loads to SJBE.	Establish a set of BMPs for erosion control.	Lead: DNER, Estuario Implementing partners: Academia, scientific community	Pending	0-2 years	TBD	DNER, USEPA
3. Implement regulations and establish guidelines to reduce sediment runoff during construction and agricultural activities.	Improved erosion control and enforcement at construction sites.	Ensure compliance with regulation and guidelines.	Lead: DNER, USEPA, PRDA, USDA Implementing partners: Academia, scientific community, Estuario	Pending	3-5 years	TBD	DNER, USEPA, PRDA, USDA
4. Increase sweeping of municipal streets.	Reduced sediment loads to SJBE.	Reduce sediment loads.	Lead: Municipalities, DTOP	Pending	0-2 years	TBD	Municipalities, DTOP

1153 **Regulatory and Policy Requirements**

1154 Modifications to local codes and ordinances to incorporate erosion control BMPs may be required.

1155 ***WS-10 Develop toxics criteria for sediment quality in the SJBE.***1156 **Background**

1157 Toxic contaminants include human-caused and naturally occurring substances that, when found in certain
 1158 concentrations, can cause adverse ecosystem or human health effects. Toxic contaminants can enter the
 1159 estuary system through stormwater runoff from urban areas, agricultural land, marinas, and industrial sites.
 1160 Toxic substances may be found in the water, attached to sediments, and in plants and animals.

1161 Contaminants such as heavy metals and organic pollutants have been detected, posing risks to both aquatic
 1162 life and human health. Recently available heavy metal concentration data from the SJBE sediments show
 1163 decreases in concentrations of most metals, although both arsenic and chromium increased, and the
 1164 composite sample from sediment above the clay interface at the San Antonio extension (near Condado) had
 1165 higher concentrations of copper, mercury, nickel, and silver (Anamar Environmental Consulting, Inc., 2021).
 1166 Addressing these contaminants requires targeted cleanup efforts to mitigate their impact on the estuary's
 1167 ecosystems.

1168 The characterization and the dynamics of atmospheric inputs to the SJBE through various sources such as
 1169 rainfall, dry deposition, Saharan dust, and other anthropogenic sources are critical areas of study that
 1170 require increased attention. Understanding these atmospheric inputs is essential for assessing their
 1171 potential impacts on the estuarine system and the health of both aquatic and human populations

Scientific attention is also needed to determine the threshold levels of toxicity or stress for various organisms and humans exposed to the toxic, heavy, and novel chemicals now stored in sediments and entering into SJBE on a daily basis. Establishing these thresholds is vital for safeguarding the health of both the ecosystem and the communities that rely on it. Toxicity thresholds can inform regulatory standards and guidelines, helping to ensure that levels of contaminants remain within safe limits for both aquatic life and human populations.

A key goal of this action is to develop toxic criteria specifically tailored to tropical species and habitats found within the SJBE. These criteria will provide scientifically based thresholds that reflect the unique sensitivities of tropical ecosystems, ensuring that management and regulatory efforts effectively protect these vulnerable environments.

Activities

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Select the parameters of interest based on substances in the SJBE that pose risks to aquatic life and human health.	Targeted parameters for reductions in sediment.	Identify and define key contaminants.	Lead: USEPA, DNER Implementing partners: academia, scientific community	Pending	3-5 years	TBD	USEPA, DNER
2. Establish contaminant criteria for sediment quality.	Improved sediment quality in the SJBE system.	Reduce identified contaminants.	Lead: USEPA, DNER Implementing partner: Estuario	Pending	5+ years	TBD	USEPA, DNER

Regulatory and Policy Requirements

Amendments to DNER's Regulation for the Control of Erosion and Sedimentation may be needed based on the results of the study.

HW-21 Update the Puerto Rico Land Use Plan every ten years.

Background

Updating the land use map for the SJBE is a critical step in effectively managing the ecological health of the system. Urbanization and land use patterns significantly influence stormwater generation and pollutant transport within the SJBE, impacting water quality and the overall functionality of the estuarine system. As development continues to evolve, it is essential to have an accurate and up-to-date representation of land use to inform decision-making processes related to land management and environmental protection.

The Puerto Rico Land Use Plan (2015) is the planning instrument that governs public policy on land use, development, and conservation in Puerto Rico for a term of ten years. As established by law in Article 12, this plan divides land according to its existing and potential characteristics and values into three basic categories established in the Municipal Code (Law 107-2020): urban land, developable land, and rural land.

The Land Use Plan serves as a framework for realigning and improving the plans, programs, and procedures of state agencies to achieve their goals and objectives. Importantly, it is not intended to contradict existing state regulations and authorization procedures. This planning instrument also provides the foundation for local planning for municipalities.

In the SJBE region, which is predominantly urban, high-density developments and a high population density are evident. Approximately 60% of this territory is classified as "urban land," while 14% is designated as a "road system" (Estuario, 2025). Additionally, due to the presence of some protected areas, 16% is classified as "specially protected-ecological rustic land."

Collaborating with local partners is vital to ensure that the updated land use maps accurately capture recent development. Collaboration can facilitate the collection of data sources and local knowledge, leading to a more comprehensive understanding of how land use changes affect hydrology and sediment dynamics in the SJBE.

To effectively minimize sediment loading into the SJBE, it is essential to incorporate the latest scientific research and modeling into the land use mapping process. This includes understanding the relationships between land use, stormwater runoff, and pollutant transport. By identifying areas that are particularly vulnerable to erosion and sedimentation, stakeholders can implement targeted management strategies and best practices that mitigate these impacts.

Activities

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Conduct a comprehensive review of existing land use data, including the land cover map in the SWMP.	Identify discrepancies in data or outdated information or data gaps.	Identify key areas where data gaps are present and are a priority to address.	Lead: DNER, Estuario Implementing partners: municipalities, academia, scientific community	Pending	0-2 years	TBD	USEPA, DNER
2. Engage stakeholders and community members in the plan update process.	Community involvement in the plan update process.	Conduct stakeholder and community engagement meetings.	Lead: DNER, Estuario Implementing partners: municipalities, academia, scientific community	Pending	0-2 years	TBD	USEPA, DNER
3. Share findings with the updated Land Use Plan and gather feedback.	Updated land use plan created through collaboration and partnership with key stakeholders.	Distribute the updated Land Use Plan to key stakeholders.	Lead: DNER, Estuario Implementing partners: municipalities, academia, scientific community	Pending	0-2 years	TBD	USEPA, DNER

Regulatory and Policy Requirements

Modifications to local development regulations and codes may be required if land use categorizations change with the update of the Land Use Plan.

****NEW-1* Evaluate technologies and approaches for the beneficial use and disposal of dredged material in the SJBE for capping*****Background**

Sedimentation in the SJBE has been a long-standing issue, primarily driven by urban development, inadequate stormwater management, and illicit discharges. Urban development increases impervious surfaces, such as roads and buildings, which accelerate runoff velocity and volume, thereby increasing erosion and sediment transport into the estuary. Inadequate stormwater management fails to mitigate these effects effectively, allowing excessive sediment-laden runoff to enter the watershed. Illicit discharges contribute additional contaminants and organic matter that exacerbate sediment quality degradation. These factors have led to an increased influx of sediments and nutrients into the estuary, affecting water quality and ecological balance. Historical data show that sediment loadings have fluctuated, often exacerbated by intense urban runoff and oceanic wave action. The resulting sedimentation diminishes water transparency, impairs photosynthesis in aquatic plants and algae, and contributes to eutrophication, which leads to excessive nutrient enrichment and proliferation of macroalgae (Aponte Marcano, 2020).

Human activities such as dredging and filling as well as stormwater and sewer discharges have directly impacted San Juan Bay. The bottom sediments of SJBE accumulate at relatively high rates, with the fastest rates at Caño Martín Peña and lowest in Piñones. Oczkowski et al. (2020) conducted a study of the temporal rate of sediment accretion at five locations in SJBE and found that in locations where dredging has not taken place, the rate of accretion ranged from 0.03 to 0.3 grams per cubic centimeter per year and that accretion rates increased after the 1960s. Recently deposited sediments had higher concentrations of organic matter, nitrogen, and phosphorus than sediments deposited between 1900 and 1950.

USACE evaluated sand sources and dredged holes for disposal of dredged materials. Technologies such as recycling glass to make sand were evaluated but not selected due to limited data. Novel science to advance such technologies may be a way to turn waste products into beneficial use of dredged fill material. Historically, materials were dredged from the SJBE for use as construction materials, to the detriment of the SJBE system. Such historic practices did not consider the ecological balance, resulting in sediment disturbance and contamination spread. Today dredge spoils are being used to repair those dredge holes (Ellis, 1976). Dredge spoils from the deepening and widening of San Juan Bay used to be stockpiled for the filling of dredge holes in Condado Lagoon. Dredge material to restore flow to the Caño Martín Peña are proposed for the filling of dredge holes in the San Jose Lagoon (USACE, 2016).

Given these sediment dynamics and historical impacts, it is critical to identify and evaluate potential areas where beneficial reuse of dredged material can support habitat restoration or creation. This includes characterizing the physical and chemical suitability of dredged sediments for different ecological applications such as marsh restoration, shoreline stabilization, or creation of benthic habitats. Areas where sediments contribute nutrients and other pollutants to the system and negatively impact aquatic species could benefit from dredging or capping to improve water quality and ecological conditions. Selection between these various approaches depends on site-specific sediment characteristics and restoration goals.

The effects of dredging activities on benthic and pelagic components of estuarine water bodies are not fully understood and thus need to be addressed. Evaluating the potential impacts of dredging on these ecological components is essential for developing effective management strategies that balance sediment removal with the preservation of aquatic habitats.

Activities

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Identify locations with organic and/or contaminated sediments in the SJBE system.	Improved understanding of sediment properties in the SJBE system.	Survey to map organic and/or contaminated locations.	Lead: USACE, DNER, Estuario Implementing partners: municipalities, academia, scientific community	Ongoing	0-2 years	TBD	USEPA, DNER, and Water Resources Development Act (WRDA)
2. Determine techniques and technologies to address organic and/or contaminated sediments in each priority location.	Improved application of dredging and capping techniques.	Feasibility study for priority locations.	Lead: USACE, DNER Implementing partners: municipalities, academia, scientific community	Ongoing	3-5 years	TBD	USEPA, USACE, DNER, WRDA
3. Implement a project using selected technologies and techniques to address priority sediment locations.	Improved sediment health in the SJBE system.	Sediment remediation projects at priority locations.	Lead: USACE, DNER Implementing partners: municipalities, academia, scientific community	Pending	5+ years	TBD	USEPA, DNER, and WRDA

Regulatory and Policy Requirements

USACE and other permitting may be required to install monitoring devices and perform monitoring activities. The data gathered will drive policy changes towards more efficient and sustainable dredging and capping strategies to improve sediment in the SJBE.

****NEW-2* Increase tree and vegetative cover in urban and coastal areas of the SJBE .***

Background

Deforestation is a pressing environmental issue that affects ecosystems worldwide, and the SJBE system is no exception. SJBE is a vital ecological and economic resource, providing habitat for diverse marine and terrestrial species, supporting local fisheries, and serving as a hub for tourism and commerce. However, urbanization, agricultural expansion, and industrial development have led to significant deforestation in the region, threatening its ecological integrity and the well-being of local communities.

Urbanization is one of the primary drivers of deforestation in the SJBE watershed. The rapid growth of San Juan and surrounding municipalities has led to the conversion of natural landscapes into residential, commercial, and industrial areas. As the population increases, the demand for land for housing, infrastructure, and services intensifies, resulting in the clearing of forests and other natural habitats (Martinuzzi et al., 2007).

Development also makes the remaining tree cover more vulnerable to extreme weather events. It is estimated that 31 million trees died as a result of Hurricane María along with the defoliation of approximately 88% of urban forests, impacts to 50% of the mangrove cover, and the loss of 28% of the trees in the Las Cucharillas Marshland (Torres Barreto, 2019).

Although the SJBE is a highly urbanized watershed, there are five urban forests found within the boundaries of SJBE: San Patricio State Forest, Piñones State Forests, Julio Enrique Monagas National Park, Doña Inés Arboretum Park, and Luis Muñoz Rivera Park. It is important that these resources are protected, and additional tree canopies established, where possible, to increase resilience during storm events and to provide shade and protection from the heat for members of the community.

The biodiversity inventory of all ecological systems within the SJBE should be updated to reflect current conditions and trends. This inventory will help identify the species present, including non-native species, and assess their ecological roles and services. While non-native species can sometimes provide benefits, such as erosion control or habitat structure, they can also disrupt local ecosystems, outcompete native species, and alter habitat conditions. Understanding the impact of non-native species is crucial for developing effective management strategies that prioritize the restoration of native vegetation and the enhancement of ecosystem services.

Activities

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Evaluate the watershed to identify key urban locations to increase vegetative cover to connect green areas.	Identified locations for tree canopy needs.	Complete an assessment to identify key urban locations with insufficient tree cover.	Lead: DNER, USFS, NRCS Implementing partners: municipalities, academia, local organizations, Estuario	Pending	0-2 years	TBD	DNER, USFS, NRCS
2. Prepare an urban forest plan that identifies locations, accepted tree types, and care requirements.	Approach to meeting tree canopy needs in the urban areas.	Identify tree species suitable for urban environments.	Lead: DNER, USFS, NRCS Implementing partners: municipalities, academia, Estuario	Pending	3-5 years	TBD	DNER, USFS, NRCS
3. Implement the plan by planting trees in identified priority locations.	Increased tree canopy in the urban areas.	Plant trees in identified priority locations.	Lead: DNER, USFS, NRCS Implementing partners: Municipalities, local organizations	Pending	5+ years	TBD	DNER, USFS, NRCS, USEPA

Regulatory and Policy Requirements

Modifications to local development regulations and codes may be required to incentivize the planting of native trees.

***NEW-3* Nutrient and sediment modeling in the SJBE watershed.**

Background

From 2020 to 2024, Dr. Luís Pérez Alegria from the University of Puerto Rico at Mayaguez modeled sediment and nutrient loads within the SJBE watershed based on soil particles (sands, silts, and clays) and nutrients such as total phosphorus and nitrogen. The model is a continuous hydrological simulation model that incorporates meteorological data with the hydrographic and hydraulic characteristics of the network of canals and creeks in the SJBE watershed. The model was developed by the USACE Hydrologic Modeling Center and is called the Hydrologic Modeling System (HEC-HMS). HEC-HMS simulates precipitation and runoff processes from watersheds such as those contained in the SJBE catchment area (Kamal et al., 2022). In addition, HEC-HMS included a Modified Universal Soil Loss Equation module, which was applied to each of the sub-basins and used to estimate the sediment load generated by anthropogenic action, soil type, land use and precipitation in each of the sub-basins of the Estuary (Rodríguez González et al., 2022).

The Environmental Fluid Dynamics Code (EFDC)/ Three-Dimensional Hydrodynamic Eutrophication Model (HEM3D) coupled hydrodynamic and water quality models have been applied to quantify the potential water quality from flows of stormwater, industrial discharges, and other flows. The USEPA-supported EFDC/HEM3D includes features and capabilities that make it superior and more applicable to shallow estuarine environments than other models (Florida Institute of Technology, 2023).

Activities

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Review and analyze exiting nutrient and sediment modeling data.	Collection of nutrient and sediment load data from the SJBE study area.	Identify data gaps or limitations in existing modeling efforts that need to be addressed.	Lead: DNER Implementing partners: municipalities, academia, scientific community, Estuario	Pending	0-2 years	TBD	USEPA, DNER
2. Update models based on collected data.	Improved and updated nutrient and sediment load models.	Achieve a correlation between modeled and observed nutrient and sediment loads.	Lead: DNER Implementing partners: municipalities, academia, scientific community	Pending	3-5 years	TBD	USEPA, DNER
3. Engage with stakeholders on management strategies based on updated model findings.	Stakeholder identified and discussion to propose new strategies.	Conduct stakeholder and community engagement events.	Lead: DNER Implementing partners: municipalities, academia, scientific community, Estuario	Pending	0-2 years	TBD	USEPA, DNER

Regulatory and Policy Requirements

Amendments to DNER's Regulation for the Control of Erosion and Sedimentation may be needed based on the results of modeling efforts and new data.

References

- Anamar Environmental Consulting Inc. 2021. MPRSA section 103 Sediment Characterization Testing and Analysis San Juan Harbor, Puerto Rico. Anamar Environmental Consulting, Inc., Gainesville, FL.
- Aponte Marcano, P.I. 2020. Impacto y vulnerabilidad de los arrecifes de coral y las praderas de yerbas marinas. Pages 76-81 in Programa del Estuario de la Bahía de San Juan, editor. Diagnóstico de vulnerabilidad de la cuenca y el sistema del estuario de la bahía de San Juan ante el impacto de huracanes. Programa del Estuario de la Bahía de San Juan, San Juan, PR.
- Brodine, M. December 2017. Urban Waters Learning Network. Proyecto ENLACE del Caño Martin Peña: Restoring an Ecosystem and Building Resilient Communities in Puerto Rico. Accessed at: <https://urbanwaterslearningnetwork.org/resources/proyecto-enlace-del-cano-martin-pena-restoring-ecosystem-building-resilient-communities-puerto-rico/>.
- Coto, D. Associated Press. 2023. *Dredging of Puerto Rico's biggest port begins despite warnings it may harm environment*. AP News. <https://apnews.com/article/puerto-rico-san-juan-bay-dredging-environment-0a6a0c0cd0e197c0fb32593e0ca567e1>.
- DNER. 2019. *Regulations for the Control of Wastewater Pollution and Stormwater Management (Regulation 40)*. Retrieved from <https://bibliotecalegalambiental.wordpress.com/wp-content/uploads/2019/10/reg5754k.pdf>.
- Ellis, S. R. (1976). *History of dredging and filling of lagoons in the San Juan area, Puerto Rico*. U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 76-38. <https://pubs.usgs.gov/wri/1976/0038/report.pdf>.
- Estuario. 2025. Land Use Plan. <https://estuario.org/uso-de-terrenos/>.
- Floria Institute of Technology. 2023. Zarillo, Gary, et al. Restore Lagoon Inflow Research (Phase 3) Final Report Task 2: Hydrologic Modeling. July 2023.
- Ismail, H., Kamal, M.R., Mojid, M.A., Bin Abdullah, A.F. and Him, L.S. 2022. Loss method in HEC-HMS model for streamflow projection under climate change: a review. Int. J. Hydrology Science and Technology. Vol 13, No. 1, pp 23-42.
- Lugo, A.E. and J.F. Bauzá Ortega. 2024. San Juan Bay Estuary: Research History and Opportunities. EPA/600/R-23/308.
- Martinuzzi, S., Gould, W. A., Ramos Gonzales O. M. 2007. Land Development, land use, and urban sprawl in Puerto Rico integrating remote sensing and population census data. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2006.02.014>.
- Natural Resources Conservation Service. 1996. Riparian Areas – Environmental Uniqueness, Functions, and Values. NRCS/RCA Issue Brief 11.
- Oczkowski, A. J., E. A. Santos, R. M. Martin, A. B. Gray, A. R. Hanson, E. B. Watson, E. Huertas, and C. Wigand. 2020. Unexpected nitrogen sources in a tropical urban estuary. Journal Geophysical Research, Biogeosciences 125, e2019JGR005502.
- Government of Puerto Rico. 2015. Puerto Rico Land Use Plan. <https://jp.pr.gov/plan-de-usos-de-terrenos/>.

- 1352 Ramírez, A., R. De Jesús Crespo, D. M. Martinó Cardona, N. Martínez Rivera, and S. Burgos Caraballo. 2009.
1353 Urban streams in Puerto Rico: what can we learn from the tropics? *Journal of the North American*
1354 *Benthological Society* 28:1070-1079. DOI: 1010.1899/1008-1165.1071.
- 1355 Ramírez, A., A. Engman, K. G. Rosas, O. Perez Reyes, and D. M. Martinó Cardona. 2012. Urban impacts on
1356 tropical island streams: some key aspects influencing ecosystem response. *Urban Ecosystems* 15:315-325.
- 1357 Rodríguez González, C.A., A. M. Rodríguez-Pérez, J. J. Caparrós Mancera, J.A. Hernández Torres, N. Gutiérrez
1358 Carmona, M.I. Bahamonde García. 2022. *J. Hyd. and Hydromechanics*. 70. Vol.3, pp 341-356.
- 1359 Torres Barreto, B. 2019. Green Infrastructure, A Commitment to Resilience. *El Nuevo Día*. September 15,
1360 2019.
- 1361 USACE. 2016. Final Feasibility Report: Caño Martín Peña Ecosystem Restoration Project. February 2016.
- 1362 United States Department of Agriculture (USDA). 2017. Soil Erosion and Sediment Control. Natural
1363 Resources Conservation Service.
1364 <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/main/national/technical/ecoscience/soil/erosion/>.

Drainage and Water Exchange Infrastructure

Baseline

The SJBE has been highly affected by the interaction of man to the natural flow of the waters of SJBE. Until very recent times, these changes were solely for economic benefit and quality of human life. Many of these changes to the landscape have resulted in significant ecological impacts. Approximately 85% of the landscape in the SJBE watershed has been altered by man, going back thousands of years ago (Seguinot-Barbosa, 1983). To understand the present state of the drainage and water exchange infrastructure and further understand changes necessary for the current environmental and economic conditions of the area of the SJBE, the hydrology and historical changes to the system must be understood.

Hydrology is the movement of water and its relation to land. Changes to the land under or adjacent to the water can result in significant changes to the hydrology and upset the delicate balance of an estuary. The earliest changes to the SJBE were made by indigenous populations that deforested coastal areas for agricultural and homesteads resulting in significant erosion, but the major changes began with the arrival of Ponce de Leon and the development of San Juan Bay in the early 1500s (Seguinot-Barbosa, 1983). Since this time, management of the hydrology of the SJBE system has been to mine the waters and wetlands for the earth below, engineer and control the banks of the waterbody, and fill and develop the changed shoreline. This management approach has created deep dredge holes, new environments, and limited the capacity of the system to buffer flows of water and the pollutants and resources it carries. The restricted flows in the canals east and west of San Jose Lagoon have isolated the once tidally influenced San Jose Lagoon, which no longer flows freely with the changing tides and is dominated by episodic storm events that can reverse the tidal flows. This altered system has created increasing flood events, limited natural flushing, contributed to nutrient imbalance (eutrophication), and changes to the flora and fauna beyond the estuary itself.

The San Juan Bay has a mouth to the Atlantic Ocean and a second inlet at the northwest end of the Condado Lagoon, resulting in limited restriction of flow (Bunch et al., 2000). The large area and extensive navigational dredging in the SJBE have made it the center of marine commerce in Puerto Rico since the 1500s. Navigational dredging for the San Juan Bay also extends east into the Caño Martín Peña.

Caño Martín Peña connects the San Juan Bay to the San Jose Lagoon. This system was once a wide and winding estuarine channel with wetlands that reached far north and south of the channel. In the eastern end of the Caño Martín Peña, the natural sinuous flow of the channel remains, but the nearly half mile wide floodplain and associated wetlands have been reduced to a narrow buffer (where present) between the filled and developed former mangroves and the channel. Many of the areas are filled with waste, creating additional challenges to restoration. The channel is choked with trash and debris, limiting the tidal exchange between San Juan Bay and the San Jose Lagoon. The low-lying areas are frequently flooded as a result of old storm sewer system that includes combined sewer flows, discharge from the Juan Mendez Creek, and storm surge flowing through the Suarez Canal and San Jose Lagoon. This frequent flooding of contaminated waters results in direct impacts to human health in the low-lying areas (USACE, 2016).

To the west, the sinuous flow of the natural channel has been replaced by an unnatural straight-lined channel. While this area has also been challenged with filled mangroves and development, mangroves have reestablished on both sides of the channel. In 2003, the area was designated as a Natural Reserve to protect the area from further development. To the east the natural flow of the channel may remain, but

development and pollution of trash, stormwater, and sanitary waste have created extensive damage to the system. With the damage to the Caño Martín Peña, the Caño Martín Peña Ecosystem Restoration project is underway and is further described in this section.

The San Jose Lagoon has also suffered from hardened shorelines and encroaching development, but most significant to the hydrology is the dredging from a depth of approximately six feet on average to up to 32 feet deep in dredge holes in the eastern section. The volume of the San José lagoon was increased by more than 30%, which also increased the time required to exchange the water volume in this already isolated and restricted waterbody. The deep depressions formed from dredging result in areas of denser salt water from the ocean running deep below the freshwater entering through the Caño Martín Peña, eliminating the mixing of fresh and saltwater that define an estuary and result in the unique balancing between the fresh and marine environments (USACE, 2016).

The San José Lagoon is divided into two sections named Los Corozos Lagoon to the northwest and the San José Lagoon, to the southeast. There is no direct connection between this lagoon and the ocean. Ocean waters have access to the San José Lagoon via the Caño Martín Peña connecting it to the San Juan Bay and the Suárez Canal, which connects to La Torrecilla Lagoon. The Suarez Canal is an artificial connection from the San Jose lagoon to the La Torrecilla Lagoon by dredging the canal in 1920s and 1930s. The Suarez Canal is constricted in its middle section, where the Román Baldorioty de Castro Expressway Bridge crosses the canal. La Torrecilla Lagoon connects to the ocean through the narrow channel of the Boca de Cangrejos outlet. Stormwater is supplied through creeks draining the surrounding urban areas, including Juan Mendez and San Anton. Paved and unpaved canals also drain urban areas including the Luis Muñoz Marín International Airport. The San José Lagoon also receives combined sewer overflows and stormwater from pump stations (USACE, 2016).

With the development in and around the SJBE, the natural balance of the system has been severely disturbed. The mangrove wetlands and floodplains are now channelized and developed, leaving no place for floodwaters to go and increasing the discharge of nutrients and sediments. Clean freshwater streams entering the estuary are now polluted with trash, sanitary waste, and sediment. The shallow but open channels connecting the waters of the SJBE have been replaced by channelized flows of varied depths, limiting the tidal exchange and vertically isolating fresh and salt waters.

Building on the understanding of the hydrological challenges facing the SJBE, it is crucial to examine the ongoing and planning restoration efforts aimed at addressing these issues. Several projects have been initiated or proposed to restore natural flows, improve water quality and enhance ecological and community health throughout the estuary system.

The Caño Martín Peña Ecosystem Restoration project (CMP-ERP) is the first major restoration project designed to have a large-scale improvement to the environmental conditions of the SJBE. According to the abstract of the Environmental Impact Statement:

"The purpose of the CMP-ERP is to re-establish the tidal connection between the San José Lagoon and the San Juan Bay, and thus, the eastern and western sections of the San Juan Bay Estuary. The CMP-ERP consists of the dredging of approximately 2.2 miles of the eastern half of the CMP, starting from the San José Lagoon towards the west, in the vicinity of the Luis Muñoz Rivera Avenue Bridge. The CMP-ERP would improve dissolved oxygen levels and salinity

stratification, increase biodiversity by restoring or enhancing, among others, fish habitat and benthic conditions, and overall health of the San Juan Bay Estuary System. The CMP-ERP is also critical for the revitalization of eight impoverished communities settled along the Martín Peña tidal channel, and restoration of this system will significantly improve human health and safety in the area. Recreational navigation will also be reestablished in the area, allowing for increased public and commercial use of the entire estuary. A 100-foot-wide by 10-foot-deep channel was chosen as the Recommended Plan for the implementation of the CMP-ERP. It proved to be the alternative that best meets the study objectives, is the most acceptable, cost effective and best buy. In addition to the contributions to ecosystem restoration, the implementation of the Recommended Plan would also contribute to improve socioeconomic conditions of adjacent communities.” (USACE, 2016)

The latest dredging projects and the Caño Martín Peña Environmental Restoration project have provided many bathymetric data sets; however, a comprehensive bathymetry dataset of the waterbodies in the SJBE system needs to be updated and compiled. These data will inform the hydrological and mass balance studies required to fully understand the restrictions to flow, residence times, and circulation patterns in the SJBE.

In 2021, USACE published a coastal storm risk management study for the San Juan Metro Area and the back bay areas. The back bay refers to the interior, low-lying estuarine and flood-prone areas located behind the main San Juan Bay shoreline, which are particularly vulnerable to storm surge and flooding. With a focus on coastal flood risks from storm surge, waves, tides, and sea level changes, the plan recommends several structural and nature-based features. The recommended plan provided by USACE includes levees (1.5 miles), a series of breakwaters over 0.7 miles along the Cataño shoreline, seawalls/floodwalls (6.5 miles), elevated living shoreline (0.7 miles), a discharge structure on the Malaria Canal, and associated inland hydrology features (pumps and culverts) to allow continued rainfall runoff drainage (2021). This comprehensive back bay project aims to reduce coastal flooding and enhance resilience for vulnerable communities in the interior flood-prone areas of the San Juan metropolitan region by combining engineered infrastructure with natural habitat restoration.

Objectives

- Increase water circulation and intertidal water exchange in Caño Martín Peña, between La Esperanza Peninsula Cove and the San Juan Bay, and across Isla de Cabras for better flushing capacity in the estuarine system.

Actions

***NEW-1* Conduct a comprehensive hydrologic assessment of the system to prioritize water exchange restoration efforts.**

Background

The SJBE system has undergone significant anthropogenic modifications, including dredging, filling, and sedimentation. The sedimentation rate analysis performed by Moffatt & Nichol Engineers in 2003 estimated an infill rate of 1.53 inches per year for the San José Lagoon, due to the low-energy waters and the dredged pits. While rates in other lagoons in the SJBE system range from 0.09 inches per year to 0.24 inches per year. Within Caño Martín Peña’s outlet at San José Lagoon, the sedimentation rate was estimated at 6.7 feet per

year, which is due to sediment discharges from the Juan Méndez Creek (USACE, 2016). With dredging for navigation and to increase flushing and filling of some of the dredge holes proposed and underway, many bathymetric surveys are available from various projects across the SJBE. These alterations have affected the natural hydrology and water quality of the estuary, prompting the need for a comprehensive hydrologic assessment to prioritize restoration efforts aimed at enhancing water exchange and ecological health.

Hydrodynamic and water quality modeling have proven essential in understanding the estuary's circulation patterns, pollutant transport, and flushing characteristics. A pivotal study by USACE's Research and Development Center used the CH3D-WES hydrodynamic model in conjunction with the CE-QUAL-ICM water quality model to simulate the SJBE system's response to various management alternatives. These models were calibrated and validated against field data collected, creating a reliable framework for assessing restoration strategies (Bunch et al., 2000).

The study underscored the critical role of recent bathymetric surveys to update model inputs, reflecting ongoing morphological changes due to dredging, filling, and sedimentation within the estuary. Updated bathymetric data were necessary to accurately characterize the estuary's physical environment and ensure the precision of the hydrodynamic simulations.

Key findings from the investigation demonstrated that the most effective water quality improvements resulted from a combination of widening and deepening the Cano Martín Peña channel, filling dredged submerged borrow pits, and removing un-sewered pollutant loads within Cano Martín Peña. These integrated management actions significantly enhanced flushing and reduced pollutant concentrations in the estuary, highlighting the value of targeted interventions in critical system components (Bunch et al., 2000).

The models developed through this study serve as valuable decision-support tools for guiding future management and monitoring efforts in the SJBE. By enabling simulation of various restoration scenarios, these models facilitate prioritization of water exchange restoration efforts, helping resource managers focus on interventions that maximize ecological benefits.

Conducting a comprehensive hydrologic assessment that leverages such advanced modeling frameworks and up-to-date field data is therefore essential to effectively restore and maintain the health of the SJBE system.

Activities

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Compile recent bathymetric studies and flow dynamics to identify data gaps and needs.	Attain a bathymetric map of all areas of the SJBE.	Comprehensive bathymetric survey map of SJBE attained.	Lead: USACE Implementing Partners: U.S. Geological Survey (USGS), National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Proyecto ENLACE, DNER	Ongoing	2 years	TBD	WRDA, NOAA

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
2. Identify restrictions to tidal and surface current flows.		Restrictions identified	Lead: USACE Implementing Partners: USGS, NOAA, Proyecto ENLACE, DNER	Pending	5+ years	TBD	WRDA,
3. Quantify/ model water residence time dynamics.		Residence times identified for each section of the lagoon	Lead: USACE Implementing Partners: USGS, NOAA, Proyecto ENLACE, DNER	Pending	5+ years	TBD	WRDA,
4. Model circulation dynamics.		Circulation patterns identified	Lead: USACE Implementing Partners: USGS, NOAA, Proyecto ENLACE, DNER	Pending	5+ years	TBD	WRDA,
5. Publish a comprehensive report of hydrologic conditions that includes challenges and opportunities.		Report published	Lead: Estuario Implementing partners: USGS, NOAA, Proyecto ENLACE, DNER	Pending	5+ years	TBD	WRDA,

Regulatory and Policy Requirements

None.

WS-05 Improve flow in Caño Martín Peña.

Background

Development in the Caño Martín Peña wetlands began in the 1920s and was further expedited in 1927 when Puerto Rico's Legislature authorized the sale of mangrove lands to stop the propagation of malaria mosquitos. While this environment did not harbor the malaria mosquitos, the areas were drained and filled setting a course allowing the extensive filling process that took place in the mangroves and open waters of the Caño Martín Peña during the following decades. Development along Caño Martín Peña filled in the mangrove wetlands, and has resulted in the discharge of sediment, sewage, and other wastes to the channel. Restoration of the western Caño Martín Peña has been underway since the 1950s, but restoration in the eastern Caño Martín Peña is only now beginning (USACE, 2016; Figure 4).

During the 1950s, the municipality of San Juan, received federal funds to implement urban renewal policies along the northern shore of the Caño Martín Peña. These policies resulted in the eviction and displacement of thousands of residents living in established neighborhoods over the mangroves, pushing them to public

housing projects. The displacement of families continued through the early 1980s with the use of eminent domain in the Tokyo community of Hato Rey (USACE, 2016).

The Agua-Guagua Project was designed in 1983, and this included dredging the area from San Juan Bay to the Hato Rey Financial district, and construction was completed from 1984 to 1988 at a cost of \$20 million. The project resulted in a linear channel 200 feet wide and 10 feet deep. The project resulted in a channel that was hardened with the placement of 13,000 linear feet of bulkhead, and mangroves were restored to the north and south of the channel. Most of the area formerly occupied by the displaced communities along the western Caño Martín Peña was eventually redeveloped with parks, government facilities, a sports complex, and the Enrique Martí Coll Linear Park, built on top of the bulkhead (USACE, 2016).



Figure 1-5. Historic and recent conditions of the CMP

1536
1537

Figure 4. Historical and Recent Conditions in Caño Martín Peña (from USACE, 2016)

Restoration of the eastern Caño Martín Peña has been slower to develop. USACE contracts began in 2023 and are scheduled for completion in 2031. USACE issued Contract 1 of the Caño Martín Peña project in June 2023, and the removal of vegetation and 15,000 tons of solid waste from approximately 36 acres was completed in October 2023 at a cost of \$2.9 million. Contract 2 was awarded in September 2024 and included the excavation of 25,000 cubic yards of material from the western end of the channel. The project also includes the construction of a 115-foot-wide channel at the western bridges, installation of riprap in the

channel bottom and side slopes, and sheet pile wall installation at the eastern end. This contract was awarded for \$14.7 million and is estimated for completion in October 2026. Contract 3 will be awarded in three phases, with awards anticipated in September 2025 and January 2028, respectively. The scope of work for this contract will include 1.8 miles of channel dredging, 2 miles of access channel dredging, bank stabilization, Barbosa Bridge scour protection, 35 acres of mangrove/wetland restoration along the entire channel, and construction of recreation facilities. Disposal pits are proposed in the former dredge holes in the San Jose Lagoon. Construction for Contract 3 is estimated at \$100 to \$250 million (USACE, 2024).

Activities

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Western bridges scour protection in Caño Martín Peña, Tren Urbano, and Luis Muñoz Rivera (USACE Caño Martín Peña Restoration Contract 2).	Protect the bridge from scour by dredging the west end of Caño Martín Peña channel, and installation of sheet piles and riprap to secure slopes.	Excavation of ~ 25,000 cubic yards of material from the western end of the channel Construction of a 115-foot-wide by 6.5-foot-deep channel located at western bridges. Installation of riprap at the channel bottom and the side slopes. Steel sheet pile walls will be installed at the eastern end.	Lead: USACE, Proyecto ENLACE Implementing Partners: DNER	Underway	0-2 years	\$14.7M	WRDA
2. Channel excavation and stabilization (USACE Caño Martín Peña Restoration Contract 3)	Remove flow restrictions in the Caño Martín Peña, stabilize the banks, restore mangroves and wetlands, and provide recreational facilities	1.8 miles channel dredging 2 miles access channel dredging from staging area to eastern end of Caño Martín Peña Bank stabilization to include sheet pile Barbosa Bridge scour protection ~ 35 acres Mangrove/wetland restoration for entire channel Recreation features	Lead: USACE, Proyecto ENLACE Implementing Partners: DNER	Pending	5+ years	\$100M	WRDA

Regulatory and Policy Requirements

Congress authorized projects in 2007 through Section 5127 of WRDA. The approval of the project’s viability study in 2018 has allowed USACE and Proyecto ENLACE to work on the pre-construction phase, engineering, design, and early phases of construction. The project will need continued support of the U.S. Congress to ensure funding of the final phases.

WS-06 Fill Artificial Depressions at the Suarez Canal and at Los Corozos, San José, and La Torrecilla Lagoons.

Background

The first significant change in SJB’s hydrology was the digging of the Suarez Canal in the 1820s and 1830s to connect the San Jose Lagoon and the La Torrecilla Lagoon. The Suarez Canal was then deepened and widened in the 1960s, increasing the tidal exchange in the San Jose Lagoon; however, this increased exchange was offset by the deep dredge pits in the east end of the San Jose Lagoon and in the Suarez Canal. The natural depth of the San Jose Lagoon was on average 6 feet, with a maximum depth of less than 9 feet. Several pits up to 32 feet deep were dredged to mine materials for construction and filling of wetlands. The dredge pit in the Los Corozos is approximately 17 feet deep. The dredging resulted in an increase of 30% of the volume of the lagoon (USACE, 2016). Water exchange rates are evaluated based on number of days to exchange the full volume of water within a waterbody, and this volume increase placed an even greater stress to the exchange rates of the already isolated lagoon. Dredging in the La Torrecilla Lagoon was completed to depths greater than 50 feet, with dredging in the vicinity of the narrow Boca de Cangrejos outlet increasing the tidal exchange with the lagoon (USGS, 1976). In addition, the dredging depressions formed result in areas of denser ocean saltwater running deep below the freshwater, eliminating the mixing of fresh and saltwater that define an estuary and result in the unique balancing between the fresh and marine environments.

[Placeholder for map of these areas]



Figure 5. Artificial Pits at the San José Lagoon (USACE, 2016)

Sand sources were evaluated by USACE for use in capping the dredge holes. Significant sand sources were identified in the northern portion of San Jose and Los Corozos lagoons; however, there are concerns with new depressions adversely affecting the habitat. Marina dredging in the Torrecilla Lagoon may also be viable but would need to be further evaluated. Commercially purchased sand was evaluated, but requires trucking of approximately 35 miles, purchase of the material, and in-water infrastructure to deposit. Glass recycled to sand size particles was also evaluated, but while technically feasible, issues with potential contaminants and a lack of similar prototype project make this option less desirable (USACE, 2016).

Caño Martín Peña will be dredged a width of 100 feet to a depth of 10 feet. Solid waste will be staged and disposed in a landfill. The remaining spoils from the dredging of the Caño Martín Peña will be used to fill the four major dredge holes in the eastern end of the San Jose Lagoon near the western opening of the Suarez Canal. This project will be completed under Contract 3 of the Caño Martín Peña Overall Improvement project, anticipated to be awarded in September 2025 (USACE, 2024). The estimated in-fill rate within the Caño Martín Peña's outlet at San José Lagoon is 6.7 ft/yr, with the main contributor of sediments being the Juan Méndez Creek. The sedimentation rate for the entire Caño Martín Peña was estimated to be 1.5 inches per year (USACE, 2016).

The USACE study eliminated the filling of the other dredge hole sites from the project. The Los Corozos will not be used for dredge material disposal, due to the insufficient capacity, and the potential interference to the adjacent docks, navigation, and shoreline activities. The Suarez Canal was also eliminated as a disposal site due to insufficient capacity and the requirement for containment to isolate the material from current and wave action. The La Torrecilla dredge holes were not evaluated (USACE, 2016).

Activities

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Fill dredge depressions in the Suarez Canal.	Restore or approach more consistent historic depth to improve flushing and mixing of marine and freshwaters.	Achieve a maximum canal depth of -14 feet.	Lead: USACE Implementing Partners: DNER	Delayed	TBD	\$2.25 million (2016 CCMP)	WRDA
2. Fill dredge depressions in the Los Corozos Lagoon.	Restore or approach more consistent historic natural depth to improve flushing and mixing of marine and freshwaters.	Achieve a maximum lagoon depth of -6 feet.	Lead: USACE Implementing Partners: DNER	Delayed	TBD	\$3.3 million	WRDA
3. Fill dredge depressions in the San Jose Lagoon.	Restore or approach more consistent historic natural depth to improve flushing and mixing of marine and freshwaters.	Achieve a maximum depth of -16 feet.	Lead: USACE, Proyecto ENLACE Implementing Partners: DNER	Pending	5+ years	\$100 million	WRDA
4. Fill dredge depressions in the La Torrecilla Lagoon.	Restore or approach more consistent historic natural depth to improve flushing and mixing of marine and freshwaters.	Achieve a maximum depth of 14 feet outside of the navigation channels.	Lead: USACE Implementing Partners: DNER	Delayed	TBD	TBD	WRDA

Regulatory and Policy Requirements

Congress authorized the project in 2007 through Section 5127 of WRDA. The approval of the project's viability study in 2018 has allowed USACE and ENLACE Project Corporation for Caño Martín Peña to work on the pre-construction, engineering, design, and early phases of construction. The project will need continued support from U.S. Congress to ensure funding of the final phases. Additional funding will be required to evaluate, engineer, and complete the filing of dredge holes in the construction of the Suarez Canal, Los Corozos Lagoon, and La Torrecilla Lagoon.

WS-07 Improve the flow of water between La Esperanza Peninsula Cove and San Juan Bay

Background

La Esperanza Peninsula was created in the 1960s by the placement of dredge spoils from the San Juan Bay navigation cannels to create two offshore islands and an artificial lagoon behind the peninsula. Considerable shoaling continued filling the area to create a peninsula with a single opening on the south side of the cove, reducing the exchange between the cove and San Juan Bay. In 2005, the La Esperanza Peninsula was dredged by USACE to restore water quality of the Esperanza Cove and wildlife habitat on the Esperanza Peninsula. The shoaling on the peninsula continues to be problematic, and in 2015, the USACE proposed to dredge the peninsula again. The project included the dredging of 50,000 cubic yards of material from shoaled areas to fill artificial depressions in Condado Lagoon. The project procurement documents estimate construction to be between \$1 and \$5 million; however, procurement of the project was never completed due to contract bids exceeding the award thresholds (USACE, 2021).

Activities

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Continue dredging to remove shoaling and improve flushing in the cove.	Improved flushing and tidal exchange between the La Esperanza Peninsula Cove and San Juan Bay.	Increase in number, width, and/or depth of openings.	Lead: USACE Implementing Partners: DNER	Stalled	5+ years	\$10 million	WRDA

Regulatory and Policy Requirements

U.S. Congress previously authorized the dredge project under the WRDA 1986 authorization. Bids were solicited for the project in 2015. The engineering, design, and permitting will need to be reevaluated. The project will need continued support of the U.S. Congress to ensure funding of the project.

WS-08 Assess the feasibility of opening the causeway to Isla de Cabras to increase water flow

Background

(This background information is outdated as it comes directly from the 2000 CCMP. Need input from USACE as lead agency)

The area known today as Isla de Cabras originally consisted of two islands united by a reef with a depth that did not exceed 5 feet (1.5 meters) (U.S. Department of Commerce, 1976). These two islands, named Islote de Cañuelo and Isla de Cabras, were positioned almost parallel to the entrance channel at the western side of outer San Juan Bay. The Islote del Cañuelo, presumably a rock outcrop, was located southern of Isla de

Cabras. Besides the main entrance channel to the bay, a second channel existed between the Islote del Cañuelo and the Palo Seco headland. This channel, named El Cañuelo, was narrower and shallower than the entrance channel to San Juan Bay (Seguinot-Barbosa, 1983).

Although modifications to the Islote del Cañuelo began just before 1595, permanent alterations began in 1662 with the construction of the San Juan de la Cruz Fort. In constructing the fort, a small section of the Islote was filled with rocks to strengthen its base (Ramos-Vélez, 1995). Other changes to the area included the dredging of the Cañuelo Channel during the 1890s and the building of a bridge before 1939 that connected the Palo Seco with the Islote de Cañuelo and Isla de Cabras (Ramos-Vélez, 1995; Seguinot-Barbosa, 1983).

During the 1940s, the shallow reef area between Isla de Cabras and the Islote del Cañuelo was filled for the construction of military installation facilities. The fill material transformed the two islands into one. A causeway was constructed with rubble and other materials to connect this area with the mainland (Seguinot-Barbosa, 1983). This action reduced almost by half the width of the San Juan Bay's outlet and significantly reduced the exchange of water between the bay and the ocean.

Activities

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Evaluate the need to increase the flow of water between San Juan Bay and Ensenada Boca Vieja.	Conduct needs assessment to determine where flow levels need to be restored and their priority status.	Needs assessment completed.	Lead: DNER Implementing partners: USACE, Estuario	Pending	2-5 years	TBD	DNER, USEPA
2. Select the location and size of the new opening to increase flow.	Evaluate options for new openings in the area to increase flow.	Location for new opening for increased flow finalized.	Lead: DNER Implementing partners: USACE, PRPA, USFWS, NFMS, Municipality of Toa Baja, Estuario	Pending	2-5 years	TBD	DNER, USEPA
3. Begin construction once necessary permits have been granted.	Develop construction plan and apply for necessary permits.	Permits finalized and construction plan implemented.	Lead: DNER Implementing partner: USACE, PRPB, PRPA, DTOP	Pending	5+ years	TBD	DNER, USPEA, State Revolving Fund

Regulatory and Policy Requirements

A Clean Water Action Section 404 permit and associated coastal zone and water quality certifications should be obtained.

References

- Bunch, B. W., C.F. Cerco, M. S. Dortch, B. H. Johnson, and K. W. Kim. 2000. Hydrodynamic and water quality model study of San Juan Bay estuary. ERDC TR-00-1. U.S. Army Engineering Research and Development Center. Vicksburg, MS.
- Ramos-Vélez, M., 1995. Investigación Arqueológica Fase IA Desarrollo Urbano de la Zona Costanera de Cataño, Cataño, Puerto Rico. *En* Declaración de Impacto Ambiental Preliminar, Tomo 2, Apéndice G. Preparado para el Municipio de Cataño, Puerto Rico.
- Seguinot-Barbosa, J., 1983. Coastal Modification and Land Transformation in the San Juan Bay Area: Puerto Rico.
- USACE. 2015. Memorandum for Commander, South Atlantic Division: Approval of Review Plan for San Juan Harbor Mitigation Project, San Juan Puerto Rico. February 2015.
- USACE. 2016. Final Feasibility Report: Caño Martín Peña Ecosystem Restoration Project. February 2016.
- USACE. 2021. Draft Supplemental Environmental Assessment: San Juan Harbor, Puerto Rico Seagrass Mitigation, additional Sand Source. October 2021.
- USACE. 2021. San Juan Metro Area Coastal Storm Risk Management Study. Final Integrated Feasibility Report and Environmental Assessment. San Juan Metro Area, Puerto Rico. August 2021.
<https://usace.contentdm.oclc.org/utis/getfile/collection/p16021coll7/id/19168>.
- USACE. 2024. Caribbean District: Mission, Vision, and Contract Opportunities. September 2024.
- U.S. Department of Commerce, 1976. Map of the San Juan Harbor, Puerto Rico, Coast and Geodetic Survey, National Ocean Survey. National Oceanic and Atmospheric Administration, Washington D.C., March 1912.
- USGS. 1976. History of Dredging and Filling of lagoons in the San Juan Area, Puerto Rico. September 1976.

Ports and Vessels Infrastructure

Baseline

The SJBE is a vital component of Puerto Rico's maritime landscape, balancing significant economic benefits with complex environmental and safety challenges. With a growing network of harbors, ports, and marinas, the SJBE system serves as a pivotal hub for marine transportation, which is vital for both commercial activity and tourism. The harbors within the SJBE are typically larger facilities designed to accommodate commercial vessels, including cargo ships and cruise ships. The San Juan Bay, for instance, is notable as the 17th largest port facility in the world and the second busiest container port on the east coast of the United States (Estuario, 2000). These facilities and use of San Juan Bay as safe harbor date back to the original Spanish settlement and have played a fundamental role in trade and tourism, with the Port of San Juan handling a significant portion of the island's cargo and cruise ship traffic.

In 2019, more than 30 million cruise ship passengers visited the Caribbean, with Puerto Rico being a key destination. The growth in cruise tourism, which had been nearly 10% annually before the COVID-19 pandemic, reflects the high demand for maritime travel and the vital role of the SJBE in supporting this industry (Runde and Sandin, 2021). To maintain the growth of the industry as well as the growth of modern-day vessels, dredging was completed in the San Juan Bay in 2024 to deepen and widen the navigation channel. The project included the removal of 3 million cubic yards of material to make room for larger vessels.

Public safety and environmental protection play essential roles in the development and operation of port facilities. Law 125-1942, as amended, established the Puerto Rico Port Authority in 1942 and mandated the creation of the General Security Office for the Puerto Rico Port Authority in the amendment presented in Law in 2024. The General Security Office must also comply with the Maritime Transportation Security Act. This act was a response to the terror attacks on September 11, 2001, and directed the Federal Department of Transportation to develop security measures to protect domestic ports and vessels. The act had a particular focus on security threats, cargo vessels, and dangerous cargo, but also addressed workplace safety and environmental concerns. DNER, through the Navigation Commissioner's Office, seeks to minimize the environmental impact from recreational watercraft. The four components of this office are vessel registration, marine education, marine safety, and Laws and Regulations.

In accordance with 33 CFR 151.10, when a vessel is within 12 nautical miles of the nearest land, any discharge of oil or oily mixtures into the sea from a ship other than an oil tanker or from machinery space bilges of an oil tanker is prohibited with a few exceptions. Oily-water separators capable of limiting discharges of oil to less than 15 ppm may be used. Discharges of untreated sanitary waste and from marine sanitation devices from vessels also contribute to nutrient loading in the SJBE. Improvements to port facilities for bilge water collection and sanitary waste pump outs could significantly reduce waste discharges from vessels in the SJBE. Extreme weather events present a growing threat to the SJBE's maritime infrastructure. Extreme weather events, such as hurricanes, have caused extensive damage to the infrastructure, disrupting commercial and recreational maritime activities. As changing conditions continue to exacerbate weather events, the resilience of the SJBE's infrastructure is increasingly jeopardized, challenging economic stability, recovery efforts, and tourism opportunities (United Nations Trade and Development, 2017).

The Vessel Incidental Discharge Act (VIDA), enacted in 2018, provides a uniform national framework for regulating discharges incidental to the normal operation of commercial vessels under the Clean Water Act Section 312(p). VIDA aims to prevent or reduce pollutant discharges from vessels into U.S. waters by consolidating and streamlining the previously fragmented patchwork of federal, state, and local regulations. Under VIDA, USEPA is responsible for developing national standards of performance for incidental discharges, while the U.S. Coast Guard develops the corresponding enforcement regulations. The Act covers various types of vessel discharges, including bilge water, and provides specific state petition processes to address local concerns (USEPA, 2025).

Bilge water discharges from vessels pose a significant environmental challenge in the SJBE system. Bilge water often contains oil, grease, chemicals, and other pollutants that, if discharged untreated, can degrade water quality and harm aquatic ecosystems. Regulations such as those outlined in VIDA and 33 CFR 151.10 seek to limit oil content in bilge water discharges and mandate the use of oily-water separators to reduce pollution. However, compliance and infrastructure limitations, such as inadequate bilge water collection facilities at ports, remain issues that contribute to pollutant loading in the SJBE. Enhancing port facilities for bilge water collection, improving monitoring and enforcement, and increasing awareness among vessel operators are critical steps toward minimizing the environmental impact of vessel discharges in the estuary.

In addition to bilge water, in-water maintenance activities (such as hull cleaning and painting) and fueling operations also contribute to water quality degradation through the release of pollutants including antifouling agents, fuels, and oils into the estuary. These activities can result in the discharge of hazardous substances directly into the water if not properly managed. Idle discharges, or the release of wastewater while a vessel is stationary, can further contribute to pollutant loading in the SJBE.

Figure 6. Infrastructure under the jurisdiction of the Port Authority

Objectives

- Reduce spills and discharges from ports, marinas, fishing villages, and vessels infrastructure.

Actions

****NEW-1* Develop and implement the Safety, Protection, and Vigilance Plan, administered by the General Safety Office of the Ports Authority, to ensure it supports the Clean Water Act.***

Background

Developing and implementing a comprehensive Safety, Protection, and Vigilance Plan, administered by the General Security Office of the Puerto Rico Ports Authority, is essential to ensure the sustainability of the SJBE while supporting compliance with the Clean Water Act. Under the Puerto Rico Ports Authority Act, the General Security Office is mandated to take all necessary actions for the administration, internal organization, and maintenance of its assets. Crucially, the Authority is required to prepare and periodically review a Security, Protection, and Surveillance Plan, which is executed in coordination with local and federal security agencies. This plan serves as the foundation for safeguarding port operations, protecting public safety, and preventing environmental incidents that could compromise water quality in the SJBE (Law No. 125-1942).

However, despite this clear legal mandate, there is currently no publicly available evidence or documentation confirming the existence or active implementation of a Security, Protection, and Surveillance Plan by the Puerto Rico Ports Authority. This absence highlights a significant gap in formalized safety and environmental protection measures for the estuary, underscoring the need for dedicated efforts to develop and enforce this comprehensive plan to meet both operational and environmental objectives.

In alignment with the statutory requirements and addressing these gaps, in 2024, the U.S. Coast Guard conducted a Ports and Waterways Safety Assessment (PAWSA) workshop for the Port of San Juan, focusing on the estuary's complex maritime environment. The PAWSA process engaged local experts and stakeholders in a structured risk assessment to identify waterway safety hazards that impact both environmental and public health. Key risk factors evaluated included vessel traffic density, navigational hazards, sediment accumulation, and infrastructure configurations, all of which are critical to maintaining safe and secure port operations within the SJBE. The assessment emphasized the need for enhanced vessel monitoring systems beyond the existing Automatic Identification System (AIS), recommending strengthened Port Control capabilities with improved communication and observation tools. Additional challenges identified include sediment buildup reducing navigable depths, insufficient channel markings, temporary removal of navigational aids during dredging, and vessel anchorage conflicts that complicate safe navigation (U.S. Coast Guard, 2024).

The PAWSA workshop and resulting report represent a significant step forward in addressing the safety and environmental vulnerabilities of the SJBE port infrastructure. While not a substitute for the mandated Security, Protection, and Surveillance Plan, the PAWSA provides a structured framework and stakeholder collaboration platform that can inform and support the development and eventual implementation of the comprehensive plan required by law. This progress is critical to ensuring that safety and vigilance measures effectively protect the estuary's water quality, thereby upholding the Clean Water Act's goals.

Activities

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Develop the Safety, Protection, and Vigilance Plan.	Completed plan.	Plan developed.	Lead: Puerto Rico Ports Authority	Pending	0-2 years	TBD	WRDA, DTOP
2. Implement the Safety, Protection, and Vigilance Plan.	Protocol in place to implement plan	Plan implemented.	Lead: Puerto Rico Ports Authority	Pending	0-2 years	TBD	WRDA, DTOP
3. Monitor effectiveness and continuously identify and address areas for improvement	Improved safety measures through ongoing plan implementation.	Determine plan effectiveness and identify additional needs.	Lead: Estuario	Pending	3-5 years	TBD	WRDA, DTOP

Regulatory and Policy Requirements

Need to ensure compliance with the Clean Water Act and the guideline established by Law No. 125-1942 when developing the plan.

***NEW-2* Develop and implement an infrastructure plan to ensure all seaports support water restoration and conservation efforts**

Background

The SJBE serves as a hub for maritime commerce, tourism, and community livelihoods. Given increasing pressures from urbanization, industrial activity, and maritime operations, there is a growing imperative to develop and implement an infrastructure plan for the seaports within the SJBE that actively supports water restoration and conservation efforts. This initiative aligns with the goals of the Clean Water Act, aiming to reduce pollutant discharges and protect water quality in this sensitive estuarine environment.

A foundational step in this process is conducting a comprehensive audit of existing port infrastructure and related facilities. The audit should evaluate the condition, capacity, and environmental performance of port structures, including docks, piers, stormwater systems, wastewater treatment facilities, and bilge water management systems. Coupled with this, a SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats) analysis is essential to identify internal and external factors that influence the ports' ability to comply with environmental regulations and contribute to water quality improvement. Assessment will reveal critical gaps, such as outdated or inadequate infrastructure, insufficient pollution control measures, and operational practices that may adversely affect the estuary's health.

The desire to work more closely with seaports reflects a recognition that ports are pivotal stakeholders in estuarine conservation. This approach supports proactive implementation of best management practices and infrastructure upgrades that reduce pollutant loadings, such as improved stormwater treatment, enhanced bilge water collection systems, and green infrastructure integration.

Activities

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Evaluate seaport infrastructure to research and evaluate existing information and/or plans.	Conducted an inspection of all port stormwater, sanitary sewer, shoreline protection, and wharf structures.	Complete inspections and evaluation.	Lead: Puerto Rico Ports Authority	Pending	0-2 years	TBD	WRDA, DTOP
2. Use the audit in Activity 1, to conduct a SWOT analysis.	Identified critical infrastructure requiring maintenance or replacement, prepare maintenance schedule, and identify new technologies or practices.	Improve the performance or longevity of infrastructure, reduce or eliminate failures, and optimize maintenance costs.	Lead: Puerto Rico Ports Authority	Pending	5+ years	TBD	WRDA, DTOP

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
3. Review and update BMPs in the Stormwater Pollution Prevention Plan (SWPPP)	Ensured all stormwater infrastructure is inspected, maintained, and in compliance to ensure proper flood protection and water treatment.	Complete inspections and maintenance per the SWPPP schedule.	Lead: Puerto Rico Ports Authority	Pending	0-2 years	TBD	DTOP

Regulatory and Policy Requirements

Regulatory and policy requirements will be determined based on the analyses conducted for this action.

***NEW-3* Develop and implement a plan to ensure all airports comply with the Clean Water Act.**

Background

The SJBE system is impacted by water quality issues and environmental stressors from the built environment. In addition to maritime activities, airports within the SJBE watershed contribute to potential sources of water pollution through stormwater runoff, de-icing operations, fuel handling, and other airport-related activities. Ensuring that all airports in the SJBE comply with the Clean Water Act is vital for protecting the estuary's water quality and supporting broader conservation and restoration goals.

There is a growing recognition of the need to work more closely with airports as key stakeholders in the estuary's watershed to reduce pollutant discharges and enhance compliance with federal water quality regulations. Airports are complex operational environments where pollutants such as hydrocarbons, heavy metals, and other contaminants can enter stormwater and ultimately discharge into nearby water bodies if not properly managed. These discharges can degrade aquatic habitats, impair water quality, and threaten public health.

Developing and implementing a comprehensive compliance plan tailored to the unique challenges of airports in the SJBE region will facilitate better coordination among airport authorities, environmental agencies, and community stakeholders. The plan should include thorough assessments of existing airport infrastructure and operational practices to identify potential pollutant sources and gaps in compliance. It should also promote BMPs such as enhanced stormwater treatment, spill prevention and response protocols, and regular monitoring and reporting.

Activities

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Audit airport structures.	Conducted inspection of airport stormwater, sanitary sewer, and shoreline protection structures.	Complete inspections and evaluation.	Leads: Puerto Rico Ports Authority, Aerostar Airport Holdings, LLC	Pending	0-2 years	TBD	DTOP

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
2. Use the audit in Activity 1 to conduct a SWOT analysis.	Identified critical infrastructure requiring maintenance or replacement, prepare maintenance schedule, and identify new technologies or practices.	Improve performance or longevity of infrastructure, reduce or eliminate failures, and optimize maintenance costs.	Leads: Puerto Rico Ports Authority, Aerostar Airport Holdings, LLC	Pending	3-5 years	TBD	DTOP
3. Review and update BMPs in the SWPPP.	Ensured all stormwater infrastructure is inspected, maintained, and in compliance to ensure proper flood protection and water treatment.	Complete inspection and maintenance per the SWPPP schedule.	Leads: Puerto Rico Ports Authority, Aerostar Airport Holdings, LLC	Pending	0-2 years	TBD	DTOP

Regulatory and Policy Requirements

Regulatory and policy requirements for airports will come from the analyses in this action.

WS-14 Create a Port Advisory Council to monitor docks and other watercraft facilities within the SJBE system and ensure regulatory and permit compliance.

Background

Docks provide important and needed access to the water, but their use and operation represents a potential source of pollution to the SJBE system. Because these facilities are located on the waterfront, they have a high potential to adversely impact natural resources, especially as their number increases. These impacts can be associated with the siting, construction, or operation of such facilities. Some potential impacts include shadowing of submerged aquatic vegetation; alterations to natural coastlines; and pollutant loading associated with fueling, motorboat repair, boat cleaning detergents, and leaching chemicals and paints from wooden structures. The impact to any given area is, in general, proportional to the type and size of a structure; however, the cumulative impact to an area also should be considered, since a significant number of small-scale docks could have an effect similar to an entire marina. The SJBE system is particularly vulnerable to these impacts due to the shallow depth of the majority of its waterbodies.

Infrastructure improvements are required to provide pump out facilities for sanitary waste in marinas, ballast water at ports, and bilge water collection at all facilities. Sanitary waste discharges and gray water discharges from small recreational vessels may be exempt from regulation under some conditions; however, all of these discharges can contribute to pollution in the SJBE, including increases in nutrients and pathogens. Pump out facilities in marinas and ports are required to manage these wastes in port, and the presence of these facilities can make graywater discharge requirements for vessels more stringent. Ballast water may contain oily waste, contaminated water from the source, or invasive or nonnative species as a result of source water from foreign ports. Discharge of ballast water has been cited as the source for invasive species such as lionfish and zebra mussels. Ballast Water Management Systems may be installed on ships to treat ballast water before discharging. Facilities to manage ballast water may be required at port

facilities in order to manage ballast water if vessels do not have properly working Ballast Water Management Systems. Bilgewater is water that collects in the lowest part of the vessel and may contain oils, grease, and other wastes washed down from above. Oil water separators may be used to ensure that bilgewater is discharged with oil at less than 15 parts per million. On shore facilities to collect and manage bilgewater can reduce impacts to surface water in SJBE.

Marina, maintenance, and ship repair facilities are regulated under the NPDES program and typically require a Multisector General Permit to operate under Sector Q or Sector R of the program. This program identifies potential pollutants, such as paint and paint scrapings, wash waters, and petroleum products, and requires facilities to have BMPs in place to eliminate the discharge of contaminants from marinas and shipyards. The program requires the preparation of a Stormwater Pollution Prevention Plan that includes training, monitoring, and reporting to ensure BMPs are implemented and maintained effectively. Common noncompliance issues include discharge of wash waters, improper storage of petroleum and hazardous materials, improper handling and storage of petroleum and waste oils, and improper housekeeping and containment during boat bottom prep and painting activities. This program is implemented by USEPA in Puerto Rico.

Activities

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Create a Port Advisory Council of stakeholders to make recommendations on measures to control the proliferation of docks and other watercraft facilities within the SJBE system.	1) Develop and enforce stormwater management systems that prevent runoff pollution. 2) Improve infrastructure to prevent illegal discharges like sewage and ballast from boats. 3) Implement training programs 4) Develop emergency preparedness plans for oil/diesel spills, vessel evacuation under extreme events.	Create Advisory Council.	Lead: Estuario Implementing Partners: DNER, USEPA, United State Fish and Wildlife Service (USFWS), municipalities, marinas, boating groups and organizations	On Track	0-2 years	TBD	DNER, USFWS, USEPA
2. Recommend enforcement action against illegal structures.	Reduction of illegal structures that are impacting the SJBE system.	Take enforcement action.	Lead: DNER	Pending	0-2 years	TBD	DNER

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
3. Recommend the development of public docks and other facilities in areas where the natural resources will not be adversely impacted.	Improved siting of facilities to serve the community while protecting natural resources.	Recommend facility locations.	Lead: DNER	Pending	0-2 years	TBD	DNER

Regulatory and Policy Requirements

To be determined based on the findings of the task force.

***NEW-4* Develop guidelines for marina construction and retrofits to incorporate sustainable design features.**

Background

The impact of recent extreme weather events on Puerto Rico's transportation infrastructure underscores the vulnerability of maritime systems. Effective management of harbors and marinas, coupled with resilient infrastructure and proactive, is essential for maintaining and improving the economic and ecological health of the system. Additionally, the integration of artificial nursery habitat structures into marina and port installations should be considered during the design and development of marina projects (Bauzá-Ortega, 2016). Coastal development along the San Juan Bay have impacts the survival of young fish at crucial life stages by removing critical habitat, which leads to a decrease in the adult population. Thus, the creation of nursery habitats is vital for coastal fish population survival and the improvement of commercial and recreational fisheries. Furthermore, artificial habitats will protect and enhance marine biodiversity and contribute to the general health of the San Juan Bay. The San Juan Bay is the only waterbody of the SJBE system where commercial fishing is allowed. However, the base for a fishery industry strives in the availability of suitable fish nursery habitat. One way to improve the fisheries is by the construction and deployment of artificial reef habitats under marinas and harbor facilities.

Activities

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Conduct a comprehensive review of existing marina design standards and best practices in sustainable development.	Compiled database of practices for more sustainable marina development.	Database compiled.	Lead: DNER, Implementing Partners: USFWS, marinas, boating organizations, academia	Pending	0-2 years	TBD	DNER, USFWS, municipalities, marinas
2. Implement requirements for sustainable designs in marina construction and retrofit projects.	Improved sustainability of infrastructure and protection of natural areas.	Regulation adopted.	Lead: DNER Implementing Partners: USFWS, marinas, boating organizations	Pending	3-5 years	TBD	DNER, USFWS, municipalities, marinas

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
3. Construction and deployment of artificial reef habitats under marinas and harbor facilities.	Increase in reef habitat to increase benthic resources and assist in sustaining fisheries resources.	Reefs created.	Lead: DNER Implementing Partners: USFWS, marinas, boating organizations	Pending	3-5 years	TBD	DNER, USFWS, municipalities, marinas

Regulatory and Policy Requirements

Modifications may be needed to local codes and ordinances to allow for implementation of the recommended guidelines.

References

Bauzá-Ortega J. 2015. San Juan Bay Estuary Climate Change Adaptation Plan. San Juan, PR: San Juan Bay Estuary Program.

Bauzá-Ortega J. 2016. Evaluation of the Creation of an Aquatic Nursery to Promote Fish and Shellfish Population in the San Juan Bay Harbor.

D. Runde and L. Sandin. 2021. Reimagining the U.S. Strategy in the Caribbean.

<https://www.csis.org/analysis/reimagining-us-strategy-caribbean>.

Estuario. July 2000. Comprehensive Conservation and Management Plan Chapter Three: Water and Sediment Quality Action Plan. <https://estuario.org/wp-content/uploads/2019/10/CHAP3.pdf>.

United Nations Trade and Development. 2017. Climate change impacts on coastal transport infrastructure in the Caribbean: enhancing the adaptive capacity of Small Island Developing States (SIDS), in Climate Risk and Vulnerability Assessment Framework for Caribbean Coastal Transport Infrastructure., U.N.C.o.T.a.D.U.U.p. 1415O., Editor.

USACE, Draft Supplemental Environmental Assessment. San Juan Harbor, Puerto Rico, Seagrass Mitigation, Additional Sand Source. October 2021.

U.S. Coast Guard. 2024. Ports and Waterways Safety Assessment Workshop Report. <https://navcen.uscg.gov/sites/default/files/pdf/San%20Juan%20PAWSA%20Report%2024-25%20April%202024.pdf>.

USEPA. 2025. The Vessel Incidental Discharge Act (VIDA). <https://www.epa.gov/vessels-marinas-and-ports/vessel-incident-discharge-act-vida>.

USEPA, National Pollution Discharge Elimination System. Stormwater Discharges from Industrial Activities- EPA's 2021 MSGP. www.epa.gov/npdes/stormwater-discharges-industrial-activities-epas-2021-msgp.

Transportation and Mobility Infrastructure

Baseline

There are more roads than rivers in the SJBE watershed, and the road infrastructure in the watershed conveys water into the SJBE. By implementing robust safety measures to ensure the coexistence of cyclists and motorists, alternative and clean modes of transportation can be incorporated into the road system. This includes the continued establishment of clear signage, dedicated bicycle lanes, and comprehensive public awareness campaigns. By addressing safety concerns, the region can mitigate risks and promote a more secure environment for all transportation users. This includes green infrastructure such as trees for traffic calming, but also bio-retention swales, raingardens, flow through planters, and permeable surfaces to reduce impacts from stormwater runoff (DTOP, 2018).

In 2023, Puerto Rico DTOP lead the creation of the Puerto Rico Multimodal Long Range Transportation Plan. This plan identifies organizational structure, outlined a vision for transportation in Puerto Rico, and evaluated financing for projects with a planning timeframe through the year 2050. The plan was put in place to align with federal requirements outlined in the Intermodal Surface Transportation Efficiency Act of 1991 and Fixing America's Surface Transportation (FAST) Act. This plan also recognizes San Juan as a Transportation Management Area, and a separate plan was also established for San Juan. The goals and objectives for the San Juan Plan focused on four general topics, or the four E's: Efficiency, Environment, Effectiveness and Economy. Of particular concern for the Estuario Plan are the Environment Objectives:

- B1 - To promote transportation infrastructure that preserves balanced ecosystems minimizing adverse impacts to the Island's natural environment by conceding a preponderant weight to rehabilitation and improvement of existing infrastructure alternatives.
- B.2 Reduce greenhouse gas emissions, energy consumption, and carbon footprint emittance; promote "smart growth," livable communities and improve air quality by implementing sustainability strategies and environmental management methodologies.
- B.3 Support integrated transportation and land use planning attempting to maintain consistency with existing and planned land uses.
- B.4 Improve alternative modes of transportation and travel demand strategies by implementing and improving pedestrian access, bikes lanes, public transportation plan, recharge ports for electric vehicles, among other environmentally sustainable alternatives, that reduce motorized vehicles dependency and enhance alternative modes of transportation.
- B.5 Reduce transportation infrastructure's vulnerability for it to withstand extreme weather events through resilient infrastructure.
- B.6 Improve physical and mental health by promoting and increasing active modes through interventions or new project with proper infrastructure (DOTP, 2023).

The Multimodal Long Range Transportation Plan and the Plan and Design Guide for Complete Streets in Puerto Rico prepared by Puerto Rican Planning Society provide a roadmap for the modern streets in the SJBE watershed. By improving stormwater management through the use of proper BMPs and green infrastructure, the road system can provide sustainable management of runoff to protect the SJBE.

Objectives

- Reduce sediments and contaminants reaching the estuarine system from the transportation and mobility infrastructure.
- Increase options available for alternative transportation means, such as walking and biking.

Actions

***NEW-1* Develop a comprehensive system map of federal, state, and local roads.**

Background

Preparing a comprehensive map of the road system within the SJBE watershed can help manage water quality by identifying locations where runoff pollution needs to be controlled and/or mitigated. A detailed map of the road network, including drainage systems and surrounding topography, can help visualize where road runoff and associated pollutants flow to nearby waterbodies. The map can also be used to identify where road segments or infrastructure features are major sources of pollution, such as areas with high traffic volume, inadequate drainage systems, or construction sites, which can impact aquatic ecosystems and drinking water sources.

The comprehensive road map will help to prioritize areas for implementing stormwater BMPs, such as retention ponds, vegetated buffers, or pervious pavements, as well as maintenance activities, such as street sweeping and debris removal, to reduce runoff and pollutants. The map can also be used to inform the design and placement of drainage infrastructure to provide more efficient stormwater management.

Visualizing water quality data in relation to road infrastructure on a map provides a powerful tool for informing policy decisions, planning initiatives, and resource allocation to protect water resources. By providing a clear and comprehensive overview of the relationship between road infrastructure and water quality, the comprehensive road system map can be a valuable tool for effective management and protection of water resources.

Activities

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Compile stormwater infrastructure information.	Gathered stormwater infrastructure information for federal, state, and local roads, as well as port and airport facilities.	Gather information on Infrastructure locations.	Lead: Estuario Implementing partners: Puerto Rico Ports Authority, DTOP, DNER, municipalities	Ongoing	0-2 years	TBD	DTOP, DNER
2. Prepare a GIS database for stormwater infrastructure in the SJBE watershed.	Integrated federal, state, and local infrastructure into a single database.	Create GIS database.	Lead: Estuario Implementing partners: Puerto Rico Ports Authority, DTOP, DNER, municipalities	Ongoing	0-2 years	TBD	DTOP, DNER

Regulatory and Policy Requirements

The comprehensive map will provide information to identify regulatory and policy changes that may be required to better manage pollutant contributions from the road system to improve water quality.

NEW-2 *Ensure repaving efforts maintain proper slopes and grading to effectively manage stormwater and prevent blockage of sewer inlets.*

Background

Communities within the SJBE system have raised concerns regarding repaving efforts that inadvertently block sewer inlets and disrupt effective stormwater management. Proper slope and grading during road repavement are critical to ensuring that stormwater is efficiently directed toward drainage systems, preventing localized flooding, sewer overflows, and environmental contamination. When repaving projects neglect appropriate grading standards, they can cause water to pool on road surfaces or clog sewer inlets, exacerbating water quality issues within the estuary.

Effective stormwater management is essential in the SJBE due to its urbanized landscape and vulnerability to frequent heavy rainfall events. Improperly managed stormwater can carry pollutants into the estuary, contributing to nutrient loading, sedimentation, and degradation of aquatic habitats. Ensuring that repaving projects maintain proper slopes and do not obstruct sewer inlets supports both flood prevention and the protection of water quality in compliance with the Clean Water Act.

Addressing these concerns requires collaboration between municipal authorities, transportation agencies, and community stakeholders to establish clear guidelines and oversight for repaving work within the SJBE watershed. Incorporating best practices in slope design, routine inspections, and community feedback mechanisms will help prevent sewer blockage and enhance the resilience of stormwater infrastructure.

Activities

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Establish permitting, construction BMP, and inspection criteria.	Permitting and inspection criteria documented existing and proposed elevations, ensuring proper construction BMPs are in place, and evaluated direct impacts to storm sewers.	New permitting and inspection criteria practiced.	Leads: DTOP, DNER Implementing partners: municipalities	Pending	0-2 years	TBD	DTOP, DNER
2. Establish a repavement inspection task force to carry out inspections.	Created a task force for inspections to improve water quality.	Create task force.	Lead: Estuario Implementing partners: DTOP, DNER, municipalities	Pending	0-2 years	TBD	DTOP, DNER

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
3. Carry out inspections and implement noted fixes to ensure proper grading.	Completed inspections to ensure roads are properly graded when repaved.	Proper grading of roads.	Leads: DTOP, DNER Implementing partners: municipalities	Pending	3-5 years	TBD	DTOP, DNER

Regulatory and Policy Requirements

Efforts to maintain proper drainage of sewer inlets should follow local and federal regulations.

***NEW-3* Collaborate with municipalities and planners to include alternative transportation infrastructure, such as bicycle lanes, sidewalks, and public transit access points.**

Background

Urban planning coordination and collaboration is necessary to support the alternative transportation methods that are less polluting to the air and water and to keep people safe. Reducing air pollution can also impact water quality, as nitrogen deposition from the air is a significant contributor to nitrogen in the SJBE. Encouraging alternative modes of transportation in a safe and effective manner can be accomplished through designing pedestrian-friendly environments, incorporating cycling infrastructure into city layouts, and ensuring that new developments are aligned with the goals of sustainable transportation.

The FAST Act was enacted in 2015, and the Multimodal Long Range Transportation Plans were prepared to meet the FAST Act requirements. To this end, the plans emphasize the inclusion of non-motorized modes of transportation, complete streets, freight mobility, livability, resilient infrastructure, reliability, environment, energy, tourism considerations, and principles of sustainability and smart growth, which align with the SJBE goals and objectives (DTOP, 2023).

Activities

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Develop guidelines for incorporating alternative transportation infrastructure into development plans.	Better information on how to add alternative transportation for SJBE communities.	Guidelines developed.	Lead: DTOP Implementing partners: Metropolitan Bus Authority, Transit Safety Commission, municipalities	Pending	0-2 years	TBD	DTOP, Metropolitan Bus Authority, Transit Safety Commission, municipalities
2. Advocate for the inclusion of alternative transportation infrastructure in local zoning codes and development regulations.	Removed barriers to including alternative transportation in development projects.	Barriers removed.	Lead: DTOP Implementing partners: Metropolitan Bus Authority, Transit Safety Commission, municipalities, local advocacy groups	Pending	0-2 years	TBD	DTOP, Metropolitan Bus Authority, Transit Safety Commission, municipalities

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
3. Implement alternative transportation projects in key areas of the SJBE watershed.	Improved access throughout the watershed.	Alternative transportation projects completed.	Lead: DTOP Implementing partners: Metropolitan Bus Authority, municipalities	Pending	3-5 years	TBD	DTOP, Metropolitan Bus Authority, Transit Safety Commission, municipalities

Regulatory and Policy Requirements

Modifications to local development codes and regulations may be required to provide incentives for developers to include alternative transportation infrastructure. These local code modifications may be currently required to comply with DTOP, FAST Act, and other recently enacted requirements.

References

2023 Laws of Puerto Rico TITLE NINE - Highways and Traffic (§§ 1-8 — 5725) Chapter 6 - Complete Streets (§§ 146 — 151) § 147 - Declaration of public policy.

DTOP. 2018. Comprehensive Bicycle and Pedestrian Plan for Puerto Rico.

DTOP. 2018. Puerto Rico Complete Streets Plan & Design Guidelines.

DTOP. 2023. Puerto Rico Multimodal Long Range Transportation Plans.

DTOP. 2023. San Juan TMA Multimodal Long Range Transportation Plans.

Collaborative Water and Bottom Sediment Quality Monitoring and Data Reporting

Baseline

Creating a comprehensive monitoring network for the SJBE system water quality, benthic sediments quality, and biological resources is important to determine current conditions and evaluate restoration projects and programs. A robust dataset will provide information on historical conditions in the system to better understand interactions between pollutant sources from the watershed and responses within the estuary. Sediment quality monitoring is a key component of these efforts, as sediments act both as sinks and potential sources of pollutants affecting aquatic ecosystems (Otero & Meléndez, 2011). The monitoring program's focus on sediment contaminants is critical because contaminants in the sediments of the SJBE reflect both historical and ongoing inputs from industrial, urban, and municipal sources (Otero & Meléndez, 2011).

Estuario is leading efforts to gather data in the system. Since 2008, Estuario's Volunteer Water Quality Monitoring Project has been engaging local citizens in water quality monitoring. In addition, Estuario staff collect samples for fecal enterococcus in estuarine waters. The samples are analyzed in Estuario's in-house laboratories, and the results are published weekly on their website and social media accounts through a GIS map (see example in Figure 7). This effort started in 2014 with the Laguna del Condado Natural Reserve and was extended after Hurricane María to the northern coast of Estuario's study area and to weekly sampling (Estuario, 2025).

The current monitoring activities provide ways for citizens to participate in data collection and access results in a timely manner using GIS maps. The data collected can also be used in models to evaluate changes in water quality within the estuary and major tributaries in response to changes within the watershed. Expanding data collection efforts to monitor other parameters and in additional locations will provide a more robust dataset for mapping, modeling, decision-making, and public outreach. Monitoring of sediments has revealed elevated concentrations of heavy metals, including lead, mercury, and cadmium, at multiple locations, which poses potential toxicity risks to benthic organisms and risks through bioaccumulation (Otero & Meléndez, 2011). Additionally, organic contaminants and nutrient levels in sediments contribute to the degradation of sediment quality and exacerbate eutrophication processes in the estuary (Otero & Meléndez, 2011).

Estuario convened potential partners and identified the need for collaborative regional monitoring efforts to develop a watershed-scale water quality monitoring effort to establish baseline conditions and document the impact of anticipated large-scale infrastructure projects. Through this regional water quality monitoring network, known as the Collaborative Water Quality Monitoring Network, Estuario collaborates with partners to carry out the water quality monitoring objectives. This monitoring will help to leverage additional funding to collect water quality data more frequently and efficiently, ensure quality assurance, and enable quick turnaround on interpretation and reporting for corrective measurements. In addition, collaborative monitoring efforts will provide more visibility and make data more accessible so that the different sectors can establish trends and make science-based decisions. The integration of sediment contaminant data with water quality and biological indicators provides a comprehensive understanding of estuarine conditions and informs management decisions (Otero & Meléndez, 2011).



Figure 7. Example of Weekly Bacteria Monitoring Results

Objectives

- Measure the effectiveness of water infrastructure investments based on measured water quality data.
- Identify and track spatial and temporal changes and trends in water quality and living resources associated with waterbodies.
- Strengthen communication of progress in restoring and conserving water quality.

Actions

WS-18 Continue and Strengthen Estuario’s Monitoring Efforts Including its Public-Science Component, Paying Particular Attention to the Río Piedras, Juan Méndez Creek, San Antón Creek, and their tributaries.

Background

In 2008, Estuario created the volunteer-led Water Quality Monitoring Project to gather water samples that are evaluated for 12 parameters including nutrients (nitrogen and phosphorus), bacteria (fecal coliforms and enterococcus), oils and fats, conductivity, pH, dissolved oxygen, and turbidity. Data are collected monthly from 26 stations across 13 waterbodies that represent the diverse aquatic systems within the watershed (Lugo and Bauzá Ortega, 2024). To date, Estuario has trained over 400 scientific citizens to conduct this sampling (Estuario, 2025).

Estuario has also funded a monitoring project that samples 32 drainage outlets, including 19 subbasins from the SJBW watershed and 13 from the Río Grande de Loíza below the dam, through close to 200

diagnostic stations. The project focuses on nutrient sampling to identify locations of sewage discharges. The samples results are categorized as good, moderate, enriched, impaired, and critical. The impaired and critical cases indicate an ongoing major sanitary discharge. Hotspots, which are areas with high pollutant concentrations, have been identified in the following locations: Urb. Villas de Loíza (40th Street); downtown Canóvanas; downstream Camarero Horsetrack, Canóvanas; PR-951-Loíza; Carolina Downtown, Urb. Rolling Hills, Carolina, Urb. Country Club and Villas de Country Club, Carolina; Urb. Country Club Neblin street at San Juan, Urb. Colinas de Cupey, San Juan, Urb. Santa Rita, San Juan, Plaza Caparra, Avenue Roosevelt, Guaynabo, Banco Popular-Triple S Parking lot at Avenue Roosevelt, San Juan, Urb. Torrimar, Guaynabo, Avenue San Patricio, at Puerto Nuevo Police Headquarters, Urb. Reparto Metropolitano, San Juan (Martínez Rodríguez, 2024). These are critical areas that must be addressed to reduce sewage discharges.

Scientific research is one of the most important parts of Estuario's monitoring efforts. It is important that the results from the monitoring and studies is disseminated so that agencies, municipalities, and citizens have the information for decision-making. Estuario currently provides results through georeferenced map data on the Estuario website, social media outlets, hard-copy and electronic publications of the Report on the Condition of the SJBE, waterbodies report card, handbook for volunteers on water quality monitoring, workshops for certifying volunteers, and a conference on the condition of the SJBE.

Estuario will develop a data dashboard to support the collection, evaluation, and presentation of data to the public. The data dashboard will provide more visibility across different sectors and enable the ability to make science-based decisions.

Activities

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Continue to support the Volunteer-led Water Quality Monitoring Project and look for opportunities to expand the monitoring.	Increase the number of volunteers and water quality data collected.	Increase volunteers and data collected.	Lead: Estuario Implementing partners: USEPA, DNER, community organizations	Ongoing	0-2 years	TBD	USEPA, municipalities
2. Develop, maintain, and update the data dashboard	Readily-accessible water quality data for public use.	Dashboard to increase data visibility.	Lead: Estuario	Pending	0-2 years	TBD	USEPA
3. Continue to publish data on the Estuario website to make the data publicly available.	Readily-accessible water quality data for public use.	Readily-accessible data.	Lead: Estuario	Ongoing	0-2 years	TBD	USEPA
4. Continue to provide the Report on the Condition of the SJBE	Readily-accessible water quality data for public use.	Readily-accessible data.	Lead: Estuario Implementing partners: USEPA, DNER, community organizations	Ongoing	0-2 years	TBD	USEPA, municipalities

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
5. Continue leading the Collaborative Water Quality Monitoring Network.	Continued data from the Collaborative Water Quality Monitoring Network.	Lead the Collaborative Water Quality Monitoring Network.	Lead: Estuario	Ongoing	0-2 years	TBD	USEPA

2092 **Regulatory and Policy Requirements**

2093 None.

2094 ****New-1* Develop a comprehensive monitoring plan for environmental indicators.***

2095 **Background**

2096 It is important to ensure that monitoring, mapping, and modeling are coordinated throughout the SJBE
 2097 system to provide information on water quality, bottom sediment quality, and biological conditions. As part
 2098 of the Estuario Plan revision, a comprehensive Monitoring Plan will be developed. This plan will outline an
 2099 approach to track changes within the watershed and the effectiveness of the plan's actions. The monitoring
 2100 plan will include the objectives, description of data collected, responsible stakeholders, frequency of data
 2101 collection and reporting, data sharing and use, key data gaps, and additional funding needed to fill those
 2102 gaps. The plan will also discuss how monitoring has or will change to provide the necessary data for the
 2103 modified and new Estuario Plan actions. Recommendations will be made on modifications and additions to
 2104 the existing monitoring in the system to better track key environmental indicators for physical, biological,
 2105 and chemical parameters.

2106 To assess the effectiveness of Plan actions, Estuario developed the Environmental Indicator Index (EII) based
 2107 on hydrological (water quality) and ecological (living resources) indicators. The EII indicates the status and
 2108 trends regarding the health and environmental conditions of SJBE ecosystems and ecological dynamics in
 2109 the watershed. Furthermore, the EII condenses living resources observations to communicate conditions
 2110 and helps distill complex information from multiple sources. This index provides information that can help
 2111 people see overall progress toward restoration goals. The EII is based on the field biotic observations and
 2112 monitoring of water quality data, benthic macroinvertebrates assessment, fish population census, and
 2113 percent cover of seagrass beds. Under this activity, the Estuario will continue calculating the EII according to
 2114 the USEPA-approved Quality Assurance Project Plan (QAPP) for Environmental Indicators Monitoring.

2115 **Activities**

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Identify gaps and opportunities to provide a more comprehensive monitoring network for the SJBE system.	Fill gaps in monitoring to improve knowledge of the SJBE system.	Monitoring data gaps filled.	Lead: Estuario Implementing partners: USEPA, DNER, municipalities, academia, research organizations	Pending	0-2 years	TBD	USEPA, DNER, municipalities, academia, research organizations

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
2. Continue development and implementation of the Environmental Indicator Index.	Better information through the Environmental Indicator Index.	Update Environmental Indicator Index.	Lead: Estuario Implementing partners: DNER, USEPA, municipalities, academia	Ongoing	0-2 years	TBD	USEPA, DNER, municipalities, academia, research organizations
3. Determine responsible stakeholders and appropriate roles for monitoring and data sharing.	Coordinated effort to gather and disseminate data.	Improve monitoring and data sharing.	Lead: Estuario Implementing partners: USEPA, DNER, municipalities, academia, research organizations	Pending	0-2 years	TBD	USEPA, DNER, municipalities, academia, research organizations
4. Prepare the Estuario Plan Monitoring Plan and share with monitoring stakeholders.	Plan that provides a more robust monitoring network and communication of data.	Complete Monitoring Plan.	Lead: Estuario Implementing partners: USEPA, DNER, municipalities, academia, research organizations	Pending	3-5 years	TBD	USEPA

Regulatory and Policy Requirements

None.

****NEW-2* Establish a monitoring and research program about the occurrence and potential risk of contaminants of emerging concern in the SJBE System.***

Background

The SJBE is a vital ecological resource that faces significant threats from various CECs. These contaminants, which include pharmaceuticals, personal care products, and hormones, have been detected at alarming frequencies within the estuarine environment (Rodríguez-Sierra et al., 2025). The need for a comprehensive monitoring and research program is imperative to assess the occurrence of these contaminants and evaluate their potential risks to aquatic life and human health.

A robust monitoring program should establish a network of stations throughout the SJBE to collect data on the presence and concentration of CECs. This systematic approach will help identify hotspots and trends, providing crucial information for effective management.

In addition to monitoring, the research component should focus on understanding the sources and pathways of CECs entering the estuary. Investigating the roles of wastewater treatment facilities, stormwater runoff, and illicit discharges is vital. If existing systems prove inadequate, the program can advocate for advanced treatment technologies that effectively reduce CEC concentrations.

Community engagement is another important aspect of the program. Involving local residents, schools and academia, governmental organizations, and local stakeholders in data collection and educational initiatives

fosters stewardship and responsibility for the estuary. Community-based monitoring enhances the program's effectiveness and empowers citizens to actively participate in environmental protection.

Moreover, the program should emphasize data analysis and risk assessment. Understanding the ecological and human health impacts of CECs is crucial for developing effective management strategies. Conducting ecological risk assessments will help evaluate the effects of specific CECs on aquatic organisms and the broader ecosystem, informing regulatory decisions and prioritizing actions to mitigate impacts.

Activities

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Develop a monitoring framework to facilitate the assessment of CEC concentrations, sources, and trends over time.	Comprehensive data collection on CEC concentrations and identification of trends.	Annual report summarizing CEC data with recommendations on management actions.	Leads: DNER USEPA Implementing partners: DTO, PRASA, private utilities, academia, Estuario	Pending	3-5 years	TBD	DNER, USEPA
2. Conduct data analysis to assess ecological risks from CECs.	Assessment of risks posed by CECs to species and ecosystems in the SJBE.	Create risk assessments of key species in the SJBE.	Lead: DNER Implementing partners: DTO, USEPA, PRASA, private utilities, academia	Pending	0-2 years	TBD	DNER, USEPA
3. Use data and collected information to inform policy development regarding CECs.	Development of informed policies and regulations addressing CEC management.	Facilitate stakeholder meetings to gather input on policy development.	Lead: DNER Implementing partners: DTO, USEPA, PRASA, private utilities, academia, Estuario	Pending	3-5 years	TBD	DNER, USEPA

Regulatory and Policy Requirements

Update of local policies and regulations to recognize the dangers of CECs in the system and support their regulation in entering the watershed.

****NEW-3* Develop a predictive platform for the early detection of harmful algal blooms.***

Background

HABs are the rapid growth of algae or cyanobacteria in water, which can harm people, organisms, and/or the environment (Centers for Disease Control and Prevention [CDC], 2024). An increase in nutrients in waterbodies can feed the algae, causing them to rapidly grow in a bloom. Some blooms produce toxins, and the blooms can deplete oxygen in the water when they die off, which can lead to fish and other wildlife kills. Therefore, reducing the occurrence of HABs is an important measure for the health of the SJBE system.

A study was completed in 2013 to evaluate the SJBE system's vulnerabilities to changing conditions. It found that HABs are likely to be more extensive in the estuary system within 15–30 years (Jacobs and Pérez, 2013). To reduce the occurrences of HABs, protective measures and an early detection system can be developed.

These measures require a holistic approach that includes an appropriate system-specific risk assessment method, development of early warning systems, forecasting models, and ecosystem-level mitigation strategies. HABs forecasting is complex and requires a robust dataset to provide sufficient information for modeling and predicting blooms. The scarcity of data on tropical estuaries represents a challenge to the development of HAB prediction tools for the SJBE system and similar estuaries.

To successfully model and predict HABs, data are needed on climatic and environmental variables (e.g., atmospheric temperature, wind, solar radiation), hydrodynamics (e.g., water levels, salinity, water temperature, column stratification), water quality (e.g., nutrient inputs, photic depth, pH, dissolved oxygen), and phytoplankton community structure (e.g., species composition, competition between species, and grazing effects). Additional information will need to be gathered, and an appropriate predictive tool identified and developed for the SJBE system.

Activities

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Identify gaps and opportunities to fill those gaps to gather the information needed to better predict HABs.	Fill gaps in monitoring to better predict HABs.	HABs data gaps filled.	Leads: USEPA, DNER Implementing partners: municipalities, academia, research organizations	Pending	0-2 years	TBD	USEPA, DNER
2. Determine an appropriate HAB modeling platform and develop the tool using available data.	Implementation of a HABs model.	Updated HABs model.	Leads: USEPA, DNER Implementing partners: municipalities, academia, research organizations	Pending	0-2 years	TBD	USEPA, DNER
3. Provide the HAB modeling platform as tool for coordination and collaboration to reduce HABs by improving watershed and estuary conditions.	Tool to better manage watershed and estuary conditions to reduce HABs.	Reduced HABs through better management.	Lead: Estuario Implementing partners: USEPA, DNER, municipalities, academia, research organizations	Pending	3-5 years	TBD	USEPA, DNER

Regulatory and Policy Requirements

None.

References

CDC. 2024. Harmful Algal Blooms and Your Health. Accessed at: <https://www.cdc.gov/harmful-algal-blooms/about/index.html>.

Estuario. 2025. Water Quality. Accessed at <https://estuario.org/water-quality/>.

- 2173 Jacobs, K.R. and Pérez, A.I. 2013. Assessing the San Juan Bay Estuary Program’s Vulnerabilities to Climate
2174 Change. Prepared for Climate Ready Estuaries, USEPA, and Estuario.
- 2175 Lugo, A.E. and J.F. Bauzá Ortega. 2024. San Juan Bay Estuary: Research History and Opportunities.
2176 EPA/600/R-23/308.
- 2177 Martínez Rodríguez, G.A. 2024. Implementation of a Water Quality Restoration Strategy at the San Juan Bay
2178 Estuary and the Río Grande De Loíza (Below Dam) Estuary Contributing Zone (Phase II), Progress Report
2179 Encompassing Period from November 1, 2019, to September 30th, 2024. Prepared for Corporation for the
2180 Conservation of the San Juan Bay Estuary *SJBE Contract Number C-72-250-03*.
- 2181 Otero, E., Meléndez, A. 2011. Estuarine Environmental Indicators for the San Juan Bay Estuary: Assessment
2182 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)
2183 [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).
- 2184 Rodríguez-Sierra, C.J., Mansilla-Rivera, I., and Bauzá-Ortega, J.F. 2025. Passive sampling of contaminants of
2185 emerging concern in a Caribbean urban estuary of Puerto Rico. *Marine pollution bulletin*, 213, 117674.

Impacts to Water Quality from Sources Beyond the Current Study Area

Baseline

Leading up to and during development of this Estuario Plan revision, the need to better understand all of the contributions to the SJBE system was identified by the Estuario Management Conference and Board of Directors. While the current Estuario study area encompasses the areas immediately adjacent to the estuary, the watersheds associated with the major rivers and streams (río Grande de Loíza, río Bayamón, and their tributaries) that flow into the estuary are currently excluded.

The discharge from río Grande de Loíza reaches Boca de Cangrejos during extreme floods and affects mangrove populations from Vacía Talega westward. Río Bayamón was diverted away from the estuary; however, some of its tributaries still flow into the estuary system (Lugo and Bauzá Ortega, 2024). The connection between these areas and the estuary as well as the effects of the pollutant sources in these watersheds on the estuary are not fully understood. Therefore, additional studies, monitoring, and coordination with the municipalities are needed to determine whether the Estuario programmatic boundary should be expanded in a future plan revision.

Figure 8 shows the expanded study area that will be investigated as part of this Estuario Plan revision. The expanded study area includes approximately 1,833 square kilometers of watershed and encompasses all or parts of 29 municipalities, as compared to the current study area of approximately 221 square miles and 8 municipalities. In addition, this expanded study area removes the current northern boundary to include the coastal systems that are influenced by land-based activities and interact with the estuary.

The goal of expanding the programmatic boundary is to provide a more comprehensive approach to managing the SJBE system, its watershed, and connected waterways. This expansion will also provide an opportunity to better influence enforcement and regulatory requirements that would benefit the estuary.



Figure 8. Current Estuario Study Area Boundary and Expanded Area for Evaluation

Objectives

- Assess the potential impact from point and non-point sources of contaminants to the estuarine system from regions beyond the current study area.

Actions

New-1 Determine the areas of highest sewage discharge in the expanded study area.

Background

Estuario and its partners have completed efforts to identify the areas of the greatest sewage discharge within the current study area and are working to reduce the impacts of those discharges. The expanded study area includes additional sewage discharges that have not been fully identified and evaluated. Conducting a sewage discharge evaluation effort in the expanded study area will provide valuable information to provide a complete picture of sewage discharges and key locations where projects are needed to reduce the impacts of these discharges on the larger SJBE system.

2222 **Activities**

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Establish and implement research protocols for identifying locations of sewage discharges in the expanded study area.	Improved information on sewage discharge locations.	Protocol for identifying sewage discharge locations.	Lead: Estuario Implementing partners: Scientific community, academia, municipalities, DNER	Pending	0-2 years	TBD	Academia, municipalities, DNER
2. Evaluate public health issues in the areas with the greatest sewage discharges in the expanded study area.	Information on greatest contributions of sewage in the expanded study area.	Data on greatest sewage contributions.	Lead: Estuario Implementing partners: Scientific community, academia, municipalities, DNER	Pending	3-5 years	TBD	Academia, municipalities, DNER
3. Develop maps showing the results of the sewage discharge analysis in the expanded study area.	Improved information on sewage discharge locations.	Maps showing sewage contribution locations,	Lead: Estuario Implementing partners: Scientific community, academia, municipalities, DNER	Pending	3-5 years	TBD	Academia, municipalities, DNER
4. Use the study results to identify projects to eliminate sewage discharges in the expanded study area.	Plan to reduce the number of sewage discharges.	Project list to eliminate the sewage discharges with the greatest impacts.	Lead: DNER Implementing partners: municipalities, utilities	Pending	5+ years	TBD	USEPA, State Revolving Fund, DNER, municipalities, utilities

2223 **Regulatory and Policy Requirements**

2224 None for the study. The results will help inform regulatory and policy needs in the future.

2225 ****NEW-2* Evaluate septic system and groundwater sources in the expanded study area.***2226 **Background**

2227 Areas throughout the SJBW watershed, including the contributing watersheds of the expanded study area,
 2228 do not have centralized wastewater collection and treatment, and must rely on septic systems. Traditional
 2229 septic systems provide little nutrient treatment and failing septic systems may provide little or no treatment
 2230 for pathogens. Data are limited regarding the areas of greatest concern for pollutants from septic systems
 2231 in the expanded study area; therefore, investigations are needed to gather information to inform next steps
 2232 for reducing the identified sources.

2233 In 2019, Estuario commissioned a study to better understand the impacts from septic system overflows in
 2234 the communities of Juan Matos and Puente Blanco in Cataño. These communities are in a low-lying area
 2235 near the Cucharillas Nature Reserve, and flooding in these communities lasted for a week after hurricane
 2236 María. Estuario's study included both an evaluation of the condition of septic systems and a clean-up of the
 2237 impacts from hurricane María (Ramírez, 2019). A similar study in the expanded study area would be

2238 beneficial to understand septic system conditions and contributions to groundwater as well as to determine
 2239 projects to address these issues.

2240 **Activities**

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Establish and implement research protocols for identifying septic system leaks and groundwater contamination in the expanded study area.	Improved information on septic system and groundwater contamination locations.	Protocol for identifying septic system and groundwater contamination locations.	Lead: Estuario Implementing partners: Scientific community, academia, municipalities, DNER	Pending	0-2 years	TBD	Academia, municipalities, DNER
2. Develop and implement a study to gather data on septic system and groundwater sources and contaminants in the expanded study area.	Information on septic system and groundwater pollutants and locations in the expanded study area.	Study to identify septic system and groundwater sources.	Lead: Estuario Implementing partners: DNER, scientific community, academia	Pending	0-2 years	TBD	DNER, USEPA
3. Develop maps showing areas with the greatest contribution of pollutants from septic systems and groundwater sources in the expanded study area.	Improved information on septic system and groundwater sources with the highest pollutant contributions.	Maps showing septic system and groundwater source contribution locations.	Lead: Estuario Implementing partners: scientific community, academia, municipalities, utilities, industry	Pending	3-5 years	TBD	DNER, USEPA
4. Use the study results to identify projects to improve septic system and groundwater management in the expanded study area.	Plan to address wastewater sources with the highest pollutant contributions.	Plan with hotspot locations and potential projects.	Lead: DNER Implementing partners: municipalities, utilities	Pending	5+ years	TBD	USEPA, DNER, State Revolving Fund, municipalities

2241 **Regulatory and Policy Requirements**

2242 None for the study. The results will help inform regulatory and policy needs in the future.

2243 ****NEW-3* Investigate urban and agricultural stormwater sources in the expanded study area.***

2244 **Background**

2245 While the stormwater management issues within the current Estuario study area are well documented in
 2246 priority locations, there is less information available in the expanded study area. The expanded watershed is
 2247 more rural, which results in more diffuse sources of stormwater runoff and greater contributions from
 2248 agriculture. In addition, the río Grande de Loíza and río Bayamón, which are along the eastern and western
 2249 portion of the current study area boundaries, respectively, contribute water to the estuary during extreme

runoff events, adding a larger area of stormwater runoff and additional loading to the SJBE system (Villanueva et al., 2000). Gaining an understanding of the stormwater sources and their contribution in terms of both pollutant loads and runoff volumes will help to inform future management decisions in the expanded study area.

2254 **Activities**

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Develop and implement a study to gather data on stormwater sources in the expanded study area.	Information on stormwater pollutants, volumes, and locations in the expanded study area.	Study to identify stormwater sources.	Lead: Estuario Implementing partners: Scientific community, academia, municipalities, agricultural landowners, DNER, PRDA, USDA	Pending	0-2 years	TBD	USEPA, DNER, USDA
2. Develop maps showing the results of the stormwater evaluation in the expanded study area.	Improved information on areas with the greatest pollutant concentrations from stormwater.	Maps showing stormwater contribution locations.	Lead: Estuario Implementing partners: scientific community, academia, municipalities, agricultural landowners, DNER, PRDA, USDA	Pending	3-5 years	TBD	USEPA, DNER, USDA
3. Use the study results to identify stormwater management and treatment projects in the expanded study area.	Reduced pollutant and volume loading from stormwater sources in the expanded study area.	Project list to reduce stormwater pollution.	Leads: DNER Implementing partners: Municipalities, agricultural landowners, DNER, PRDA, USDA	Pending	5+ years	TBD	USEPA, DNER, USDA, State Revolving Fund, municipalities

2255 **Regulatory and Policy Requirements**

2256 None for the study. The results will help inform regulatory and policy needs in the future.

2257 ****NEW-4* Estimate inputs from water sources into the expanded study area.***

2258 **Background**

2259 In addition to the potential pollutant sources within the expanded study area, water is brought into the
 2260 study area through outside sources. For example, a super aqueduct carries about 70 million gallons per day
 2261 of freshwater to San Juan, of which approximately 57% enters the watershed through leaky water pipes.
 2262 About 80% of the water used by customers goes to the sanitary sewer system where it is treated at the
 2263 regional Puerto Nuevo plant and then discharged to the ocean (Lugo and Bauzá Ortega, 2024). Another
 2264 example is the Sergio Cuevas Water Filtration Plant (WFP), which pulls water from the río Grande de Loíza at
 2265 the dam in Barrio Carraízo of Trujillo Alto. The WFP is owned and operated by PRASA and treats raw water
 2266 from Loíza Lake to provide potable water to the San Juan metropolitan area. The plant uses various
 2267 treatment processes, including aeration, coagulation, flocculation, sedimentation, filtration, and disinfection,

before water is distributed (USEPA, 2019). The Río Grande de Loíza sediments produced by the cleaning of the purification filters are discharged directly to the Sabana Llana and San Antón creeks, which connect to the San José Lagoon. Currently, the sediments are clogging the San Antón creek and filling the zone where it connects to the San José Lagoon. Moreover, all filtration products and chemicals used in the Sergio Cuevas WFP are also being discharged to both waterbodies.

The additional pollutant loading in the expanded study area associated with these water sources is not well known and needs further study to evaluate impacts and potential treatment options.

Activities

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Develop a study to gather data on nutrient and pollutant concentrations in water sources being brought into the expanded study area.	Information on nutrient and pollutant concentrations in water sources.	Study to identify pollutants in water sources.	Lead: Estuario Implementing partners: Scientific community, academia, PRASA, DNER	Pending	0-2 years	TBD	USEPA, DNER, PRASA
2. Identify nutrient and/or pollutant concentrations of concern in the water sources being brought into the expanded study area.	Data on high nutrient and pollutant concentrations.	Identified contaminants with high concentrations.	Lead: Estuario Implementing partners: Scientific community, academia, PRASA, DNER	Pending	3-5 years	TBD	USEPA, DNER, PRASA
3. Coordinate with PRASA on necessary treatment projects to reduce pollutants in water sources being brought into the expanded study area.	Reduced pollutant concentrations entering the expanded study area.	Reduce pollution from water sources.	Lead: DNER Implementing partner: PRDA	Pending	5+ years	TBD	USEPA, DNER, PRASA, State Revolving Fund

Regulatory and Policy Requirements

None for the study. The results will help inform regulatory and policy needs in the future.

References

Lugo, A.E. and J.F. Bauzá Ortega. 2024. San Juan Bay Estuary: Research History and Opportunities. EPA/600/R-23/308.

Ramírez, J. E.; González, R.; and Garay, A. 2019. Septic Tanks Cleanup Initiative in Cataño Communities Juana Matos and Puente Blanco: A Procedural Report. Prepared for Estuario San Juan Bay National Estuary Program.

USEPA. 2019. Fact Sheet: National Pollutant Discharge Elimination System Sergio Cuevas WTP Permit No. PR0022411. Region 2, Caribbean Environmental Protection Division.

2286 Villanueva, E., L. J. Rivera Herrera, S. Rivera Colón, M. Tacher Roffe, C. Guerrero Pérez, and C. Ortiz Gómez.
2287 2000. Comprehensive conservation and management plan for the San Juan Bay estuary. Programa del
2288 Estuario de la Bahía de San Juan, San Juan, PR.