

Mantener y mejorar la infraestructura gris y verde deteriorada y envejecida que afecta la calidad del agua y de los sedimentos del fondo

Índice

Mantener y mejorar la infraestructura gris y verde deteriorada y envejecida que afecta la calidad del agua y de los sedimentos del fondo1

- Infraestructura de alcantarillado sanitario3
 - Trasfondo3
 - Objetivo.....5
 - Acciones5
 - Referencias 11
- Infraestructura de aguas pluviales 14
 - Trasfondo 14
 - Objetivo..... 17
 - Acciones 17
 - Referencias 30
- Infraestructura para mitigar la erosión y el transporte de sedimentos 32
 - Trasfondo 32
 - Objetivo..... 34
 - Acciones 34
 - Referencias 37
- Infraestructura de drenaje e intercambio de agua 39
 - Trasfondo 39
 - Objetivo..... 42
 - Acciones 43
 - Referencias 48
- Infraestructura Portuaria y de Embarcaciones 49
 - Trasfondo 49
 - Objetivo..... 51
 - Acciones 52
 - Referencias 54

Infraestructura de transporte y movilidad 56

 Trasfondo 56

 Objetivo..... 57

 Acciones 58

 Referencias 60

Monitoreo colaborativo de la calidad del agua y de los sedimentos del fondo, y divulgación de datos 62

 Trasfondo 62

 Objetivo..... 64

 Acciones 65

 Referencias 67

Impactos en la calidad del agua provenientes de fuentes fuera del área de estudio actual de Estuario 68

 Trasfondo 68

 Objetivo..... 69

 Acciones 70

 Referencias 73

Infraestructura de alcantarillado sanitario

Trasfondo

La infraestructura de alcantarillado sanitario dentro del sistema del Estuario de la Bahía de San Juan (EBSJ) es fundamental para mantener la calidad del agua y la salud pública, pero enfrenta retos significativos. El envejecimiento de los sistemas y sus limitaciones de capacidad agravan las vulnerabilidades asociadas al aumento del nivel del mar y al incremento en la frecuencia e intensidad de eventos de tormenta. El manejo eficiente de las aguas residuales es esencial para prevenir la contaminación y proteger los hábitats acuáticos.

La descarga de aguas residuales sin tratar en el EBSJ representa un riesgo para la salud de las comunidades circundantes, los usuarios del estuario y los recursos vivos (Estuario, 2000). Estas descargas introducen altos niveles de nutrientes, patógenos y otros contaminantes que perjudican los ecosistemas acuáticos, amenazan la salud pública y reducen el potencial de actividades recreativas y económicas (Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos, [USACE], 2016). Los efectos en la salud pública constituyen una preocupación significativa asociada con un manejo inadecuado de las aguas residuales. El estado de la infraestructura de alcantarillado sanitario afecta directamente el riesgo de enfermedades transmitidas por el agua y otros problemas de salud, particularmente, entre las poblaciones vulnerables de la región.

La falta de acceso adecuado a servicios de alcantarillado sanitario en sectores densamente poblados, como Juana Matos, Cucharillas y Puente Blanco, en Cataño, contribuye significativamente al deterioro de la calidad del agua en el EBSJ y sus tributarios. Además, comunidades como Cantera, Marina, Buena Vista, Israel y Bitumul, en San Juan, se establecieron en las márgenes orientales del Caño Martín Peña mediante el relleno de sus aguas y humedales con escombros y otros tipos de desechos (Sepúlveda-Rivera y Carbonell, 1988). Estas viviendas se construyeron sin alcantarillado sanitario, lo que provocó la descarga de aguas residuales sin tratar en cunetas improvisadas o directamente al Caño Martín Peña. Es posible encontrar condiciones similares en otras comunidades dentro del sistema del EBSJ, incluyendo Palo Seco en Toa Baja; Vietnam y Amelia en Guaynabo; Playita, El Checo, Sierra Maestra, Villa Clemente, y Plebiscito 1, 2 y 3 en San Juan; y La Torre y Piñones en Loíza. En algunas áreas, los residentes han instalado sistemas sépticos individuales para disponer de las aguas residuales en lugar de descargarlas directamente al estuario, sus tributarios u otros cuerpos de agua superficiales relacionados. Sin embargo, el uso de tanques sépticos subterráneos es inapropiado en estas zonas bajas, que son propensas a inundaciones y filtraciones.

Las regiones costeras bajas, incluidas las del EBSJ, son particularmente susceptibles al aumento del nivel del mar, con el potencial de provocar inundaciones y aumentar los riesgos para la infraestructura subterránea, incluidos los sistemas de alcantarillado sanitario. Los niveles del agua subterránea tienden a subir a medida que aumenta el nivel del mar, afectando el funcionamiento tanto de los sistemas centralizados como descentralizados. Aproximadamente entre 35 % y 40 % de la población de Puerto Rico depende de sistemas sépticos para la disposición de aguas residuales domésticas, y estos sistemas pueden contribuir a problemas de calidad del agua, especialmente cuando no reciben mantenimiento adecuado o se localizan cerca de cuerpos de agua (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos [USEPA], 2019). Comunidades como Juana Matos y Puente Blanco son particularmente vulnerables, ya que enfrentan el riesgo de inundaciones que suelen causar desbordamientos de aguas residuales y contaminación de los cuerpos de agua locales.

Los sistemas de alcantarillado sanitario en el EBSJ han enfrentado retos significativos históricamente. La Ley de Agua Limpia, promulgada en 1972, estableció regulaciones para la descarga de contaminantes. En 1987 se creó el Sistema Nacional de Eliminación de Descargas de Contaminantes (NPDES, por sus siglas en inglés) para supervisar el cumplimiento con los estándares de calidad del agua. A pesar de estos marcos regulatorios, los sistemas actuales de tratamiento de aguas residuales, incluidos los sistemas regionales de Carolina, Bayamón y Puerto Nuevo, tienen un historial de mantenimiento deficiente y desbordamientos frecuentes (USEPA, 2011). Estos sistemas, que en conjunto manejan un caudal promedio de 177 millones de galones por día, están exentos de los requisitos de tratamiento secundario bajo la sección 301(h) de la Ley de Agua Limpia. Esta exención se debe a los desafíos geográficos, económicos e infraestructurales particulares de Puerto Rico, que dificultan alcanzar o mantener un tratamiento secundario completo de aguas residuales (USEPA, 2011).

Las descargas ilícitas provenientes de fuentes no autorizadas complican aún más los desafíos de calidad del agua en el EBSJ. Estas descargas se pueden originar en actividades industriales, sistemas informales y escorrentía pluvial, lo que dificulta los esfuerzos de monitoreo y fiscalización. La identificación y respuesta eficaces a las descargas ilícitas requieren colaboración entre agencias locales, educación comunitaria y participación ciudadana, aspectos que a menudo están limitados por la escasez de recursos. A medida que la población en la cuenca continúa creciendo y la infraestructura de aguas residuales envejece y se torna insuficiente, se hace urgente invertir en nueva infraestructura y tecnología para proporcionar niveles superiores y confiables de tratamiento de aguas residuales.

Existen marcos regulatorios y planes que contribuyen a abordar los desafíos actuales relacionados con la infraestructura de alcantarillado sanitario. La Autoridad de Acueductos y Alcantarillados de Puerto Rico (AAA) está implementando un extenso programa de mejoras de capital en toda la isla, con 67 proyectos en curso en el área de estudio. Estos proyectos incluyen desde el reemplazo de tuberías obsoletas hasta la rehabilitación de sistemas completos de alcantarillado sanitario. Además, el Plan Maestro Integral de Infraestructura del Caño Martín Peña representa un enfoque proactivo para atender los desafíos particulares que enfrentan las comunidades alrededor del Caño Martín Peña. Este plan enfatiza la gestión comunitaria e incorpora análisis de riesgo de eventos extremos para desarrollar estrategias que mejoren la calidad del agua y la salud pública.

El Grupo de Trabajo para la Detección y Eliminación de Descargas Ilegales e Ilícitas del EBSJ (IDDE, por sus siglas en inglés) es un grupo de trabajo establecido en 2014 por Estuario, que se reúne periódicamente para discutir e implementar soluciones dirigidas a eliminar las descargas ilegales y no autorizadas de aguas residuales en la cuenca del EBSJ. El grupo IDDE incluye miembros de agencias ambientales estatales y federales, municipios, academia y otras partes interesadas. Luego de su creación en 2014, Estuario recibió una subvención de la Junta de Calidad Ambiental de Puerto Rico (ahora Departamento de Recursos Naturales y Ambientales [DRNA]) mediante el Fondo Rotatorio Estatal y la sección 319 de la Ley de Agua Limpia para identificar descargas de aguas residuales sin tratar y otros contaminantes en la cuenca del EBSJ. Tras un proceso de selección cuidadoso y riguroso, Estuario contrató a la Estación Experimental Agrícola de la Universidad de Puerto Rico para llevar a cabo el estudio. El Grupo de Trabajo IDDE analiza los hallazgos; por tanto, este grupo se convirtió en la plataforma para implementar y monitorear las acciones correctivas.

En última instancia, la eliminación exitosa de las descargas ilegales de aguas residuales comerciales y residenciales depende de un enfoque multifacético que combine monitoreo rutinario, participación y

educación comunitaria, fiscalización reglamentaria y fortalecimiento de la infraestructura. El EBSJ enfrenta importantes retos relacionados con el manejo de aguas residuales derivados de la infraestructura envejecida, el aumento de la densidad poblacional y las presiones ambientales.

Objetivo

- Eliminar las descargas ilícitas de la infraestructura de alcantarillado sanitario.
- Optimizar los sistemas sépticos.

Acciones

MI-01 Diseñar y construir un sistema de alcantarillado sanitario para las comunidades ubicadas en la parte este del Caño Martín Peña y otras áreas que carecen de un sistema adecuado.

Actividades

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Implementar las mejoras prioritarias de alcantarillado sanitario recomendadas en el Plan Maestro Integral de Infraestructura del Caño Martín Peña para mejorar la calidad del agua y el funcionamiento del sistema.	Reducir los contaminantes que llegan al EBSJ provenientes de los sistemas de alcantarillado sanitario de estas comunidades.	Sistemas de alcantarillado sanitario instalados en las comunidades a lo largo del Caño Martín Peña.	Líder: AAA Socios implementadores: DRNA, Municipio de San Juan y agencias reguladoras	En progreso	Más de 5 años	TBD	USEPA, Fondo Rotatorio Estatal, AAA, DRNA, municipios, Agencia Federal para el Manejo de Emergencias (FEMA), Subvención en Bloque para el Desarrollo Comunitario (CDBG), Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos (USACE)
2. Utilizar el Plan Maestro Integral de Infraestructura del Caño Martín Peña para desarrollar un plan de manejo de alcantarillado sanitario para las comunidades del Caño Martín Peña (Barrio Obrero San Ciprián, Buena Vista Santurce e Israel-Bitumul).	Identificar áreas prioritarias para mejoras y construcción de infraestructura de alcantarillado sanitario.	Áreas prioritarias para mejoras de infraestructura de alcantarillado sanitario identificadas.	Líder: AAA Socios implementadores: DRNA, municipios, academia, comunidad científica, grupos comunitarios y Estuario	Pendiente	3-5 años	TBD	USEPA, DRNA, municipios, FEMA, CDBG, USACE

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
3. Realizar una evaluación de necesidades en conjunto con las comunidades para identificar áreas adicionales que carecen de sistemas de alcantarillado sanitario.	Completar un informe de evaluación de necesidades que identifique las áreas sin sistemas de alcantarillado sanitario.	Evaluación completada.	Líder: AAA Socios implementadores: DRNA, comunidad científica, municipios, grupos comunitarios, Estuario	Pendiente	0-2 años	TBD	USEPA, DRNA, municipios, USACE
4. Desarrollar diseños y planos para las áreas identificadas y asegurar financiamiento para apoyar la construcción y el mantenimiento de nuevos sistemas de alcantarillado.	Completar los planos de diseño y lograr compromisos de financiamiento.	Diseños finalizados y financiamiento asegurado.	Líder: AAA Socios implementadores: DRNA, comunidad científica, municipios, Estuario	Pendiente	3-5 años	TBD	USEPA, DRNA, municipios, USACE
5. Desarrollar un plan integral de manejo de aguas residuales para la región metropolitana de San Juan que incluya mejoras de infraestructura, medidas de cumplimiento regulatorio, estrategias de reducción de contaminación, protocolos de respuesta a emergencias y fuentes de financiamiento.	Completar un plan integral de manejo de aguas residuales que atienda mejoras, cumplimiento, reducción de contaminación y respuesta ante emergencias.	Plan de manejo de aguas residuales desarrollado e implementado.	Líder: AAA Socios implementadores: DRNA, municipios, empresas privadas de servicios públicos, agencias reguladoras y academia	Pendiente	3-5 años	TBD	USEPA, DRNA, municipios
6. Construir y alcanzar el estado de pleno funcionamiento de nuevos sistemas de alcantarillado sanitario, y monitorear su efectividad y cumplimiento.	Construir nuevos sistemas de alcantarillado sanitario y verificar que estén en pleno funcionamiento.	Construcción completada y en pleno funcionamiento.	Líder: AAA Socios implementadores: DRNA y municipios	Pendiente	Más de 5 años	TBD	USEPA, DRNA, municipios, USACE

Requisitos regulatorios y de política pública

Las descargas de aguas residuales sin tratar en cuerpos de agua superficiales constituyen una violación de los Estándares de Calidad de Agua del DRNA y de los permisos NPDES emitidos por la USEPA, así como de sus reglamentos de implementación. Se debe desarrollar, financiar e implementar un plan de cumplimiento.

MI-02 Diseñar y construir un sistema de alcantarillado sanitario para las áreas que carecen de un sistema adecuado.

Actividades

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Eliminar desbordamientos y derivaciones (descargas de alivio) mediante la operación y el mantenimiento adecuados de los sistemas.	Mejorar el mantenimiento del sistema de recolección y de las estaciones de bombeo para reducir descargas.	Reducción del número de incidentes de desbordamiento por año.	Líder: AAA Socio implementador: DRNA	En curso	Más de 5 años	TBD	AAA, Fondo Rotatorio Estatal, USACE
2. Identificar y trabajar con empresas privadas de servicios públicos para mejorar los sistemas privados de recolección y tratamiento de aguas residuales.	Mejorar el mantenimiento del sistema de recolección y de las estaciones de bombeo para reducir descargas.	Alianzas establecidas con empresas privadas de servicios públicos para reducir descargas.	Líder: empresas privadas de servicios públicos Socios implementadores: USEPA y Estuario	Pendiente	0-2 años	TBD	USEPA, Fondo Rotatorio Estatal, USACE
3. Identificar y atender ubicaciones de descargas de alcantarillado no reguladas o no autorizadas y aplicar medidas de cumplimiento.	Reducir los contaminantes de las aguas residuales en las descargas de aguas pluviales.	Reducción de las concentraciones de contaminantes provenientes de descargas combinadas mediante cumplimiento.	Líder: DRNA Socio implementador: USEPA	Pendiente	3-5 años	TBD	USEPA, Fondo Rotatorio Estatal, USACE
4. Priorizar e implementar programas correctivos para áreas de contaminación no resueltas o de alto riesgo, como la parte norte de la quebrada Juan Méndez, El Cinco, Fairview (calle 16) y Country Club.	Identificar y priorizar las áreas de contaminación de alto riesgo para remediación.	Planes de remediación desarrollados y aprobados para las áreas priorizadas, iniciando acciones correctivas.	Líderes: AAA, empresas privadas de servicios públicos Socios implementadores: DRNA y USEPA	Pendiente	3-5 años	TBD	USEPA, Fondo Rotatorio Estatal, USACE

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
5. Asegurar redundancias en el sistema para mejorar su desempeño.	Aumentar las redundancias al sistema para mejorar la confiabilidad y el desempeño, como automatización y respaldo eléctrico.	Redundancias diseñadas e incorporadas en componentes críticos del sistema.	Líderes: AAA, empresas privadas de servicios públicos Socios implementadores: DRNA y USEPA	Pendiente	3-5 años	TBD	USEPA, Fondo Rotatorio Estatal, USACE
6. Facilitar la discusión y participación en el Grupo de Trabajo IDDE.	Coordinar reuniones del Grupo de Trabajo IDDE y ampliar el nivel de participación de las partes interesadas.	Reuniones del Grupo de Trabajo IDDE realizadas.	Líder: Estuario Socios implementadores: AAA, DRNA, USEPA, municipios y academia	Pendiente	0-2 años	TBD	USEPA, USACE

Requisitos regulatorios y de política pública

Las descargas de aguas residuales sin tratar en cuerpos de agua superficiales constituyen una violación de los estándares de calidad de agua del DRNA y de las disposiciones aplicables de los permisos NPDES y sus reglamentos de implementación. Se debe desarrollar e implementar un plan de cumplimiento.

MI-03 Eliminar las descargas ilegales de aguas residuales comerciales y residenciales al sistema de alcantarillado pluvial.

Actividades

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Identificar todas las conexiones sanitarias residenciales, comerciales e industriales al sistema de alcantarillado pluvial que descargan en el EBSJ.	Mejorar la notificación y el seguimiento de descargas ilícitas.	Conexiones sanitarias al sistema de alcantarillado pluvial documentadas y mapeadas.	Líderes: DRNA, AAA Socios implementadores: municipios	En curso	0-2 años	TBD	DRNA, municipios, AAA, USEPA, Fondo Rotatorio Estatal, USACE
2. Conectar las descargas ilícitas al sistema de alcantarillado sanitario y aplicar medidas de cumplimiento a quienes no se conecten.	Reducir el número de descargas ilícitas.	Infraestructores identificados y conectados al sistema sanitario o sujetos a medidas de cumplimiento.	Líderes: AAA, municipios, DRNA Socio implementador: USEPA	En curso	0-2 años	TBD	DRNA, municipios, AAA, Fondo Rotatorio Estatal, USACE, USEPA

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
3. Construir sistemas de alcantarillado sanitario en áreas de alto riesgo sin servicio, utilizando los datos de localización de descargas.	Construir sistemas de alcantarillado sanitario en áreas de alto riesgo sin servicio.	Construcción completada en áreas de alto riesgo.	Líderes: AAA, municipios Socio implementador: DRNA	Pendiente	Más de 5 años	TBD	DRNA, municipios, AAA, Fondo Rotatorio Estatal, USACE

Requisitos regulatorios y de política pública

Las descargas de aguas residuales sin tratar en cuerpos de agua superficiales constituyen una violación de los estándares de calidad de agua del DRNA y de las disposiciones aplicables de los permisos NPDES y sus reglamentos de implementación. Se debe desarrollar e implementar un plan de cumplimiento.

****NUEVO* MI-04 Colaborar con la industria local para mejorar la infraestructura y los niveles de tratamiento de aguas residuales utilizando la mejor tecnología disponible.***

Actividades

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Identificar las deficiencias de las plantas de tratamiento en la eliminación de nutrientes y las áreas que requieren mejoras.	Completar un informe de evaluación que identifique las deficiencias en la remoción de nutrientes y las necesidades de mejora en las plantas de tratamiento.	Evaluación completada en todas las plantas de tratamiento identificadas.	Líder: AAA Socios implementadores: empresas privadas de servicios públicos y agencias reguladoras	Pendiente	0-2 años	TBD	USEPA, DRNA, municipios, empresas privadas de servicios públicos, USACE
2. Desarrollar alianzas con el sector industrial para identificar tecnologías viables de tratamiento de aguas residuales con mayor eficiencia y modificar los estándares de tratamiento para exigir una mayor eliminación de contaminantes.	Mejorar el tratamiento de las aguas residuales.	Alianzas establecidas para identificar tecnologías innovadoras de tratamiento y estándares de tratamiento revisados.	Líderes: AAA, empresas privadas de servicios públicos, DRNA Socios implementadores: industrias locales, Estuario y USEPA	Pendiente	3-5 años	TBD	AAA, empresas privadas de servicios públicos, industrias locales, DRNA, USEPA

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
3. Implementar las tecnologías identificadas con mayores niveles de tratamiento en las principales plantas de aguas residuales.	Mejorar el tratamiento de aguas residuales, reduciendo las descargas contaminantes al sistema del EBSJ.	Tecnologías de tratamiento instaladas y en funcionamiento.	Líderes: AAA, empresas privadas de servicios públicos Socios implementadores: industrias locales	Pendiente	3-5 años	TBD	USEPA, Fondo Rotatorio Estatal, industrias locales

Requisitos regulatorios y de política pública

Se requiere modificar los estándares locales para exigir mayores niveles de tratamiento de aguas residuales e implementación mediante los permisos NPDES de las instalaciones.

****NUEVO* MI-05 Crear y gestionar un sistema público integrado para informar sobre la remediación de descargas ilícitas, en lugar de que cada agencia y municipio lo maneje de forma independiente.***

Actividades

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Establecer protocolos y flujos de trabajo para la coordinación y respuesta entre agencias y socios.	Desarrollar e implementar protocolos y flujos de trabajo formales para la coordinación y respuesta interagencial.	Protocolos de coordinación establecidos con las agencias clave.	Líder: Estuario Socios implementadores: DRNA, USEPA, AAA, Departamento de Transportación y Obras Públicas (DTOP), empresas privadas de servicios públicos y municipios	Pendiente	0-2 años	TBD	DRNA, USEPA
2. Implementar acuerdos de intercambio de datos entre agencias y socios para facilitar la transparencia y el seguimiento integral.	Establecer acuerdos de intercambio de datos utilizados y vigentes entre agencias y socios.	Acuerdos de intercambio de datos establecidos con las agencias clave.	Líder: Estuario Socios implementadores: DRNA, USEPA, AAA, DTOP, empresas privadas de servicios públicos y municipios	Pendiente	0-2 años	TBD	DRNA, USEPA

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
3. Desarrollar un currículo de capacitación para informar y responder a desbordamientos de aguas residuales, y colaborar con empresas de servicios públicos, tanto públicas como privadas para llevar a cabo talleres.	Definir un proceso para informar y responder a derrames de aguas residuales, y capacitar al personal para mejorar el seguimiento a los desbordamientos.	Personal y ciudadanos capacitados para informar y responder a desbordamientos de aguas residuales.	Líderes: DRNA, USEPA Socios implementadores : AAA, empresas privadas de servicios públicos, DTOP y Estuario	Pendiente	3-5 años	TBD	DRNA, USEPA
4. Diseñar, desarrollar, probar y poner en funcionamiento el sistema público integrado y su tablero de datos (<i>dashboard</i>), y fomentar la participación comunitaria en la notificación de descargas ilícitas.	Aumentar la participación y proporcionar un sistema para informar sobre descargas ilícitas.	Sistema público integrado y tablero de datos en funcionamiento.	Líder: Estuario Socios implementadores : DRNA, USEPA, AAA, DTOP, empresas privadas de servicios públicos y municipios	Pendiente	3-5 años	TBD	DRNA, USEPA

Requisitos regulatorios y de política pública

Actualmente, cada agencia y municipio maneja las querellas de manera separada. Sin embargo, los ciudadanos no saben a qué agencia o municipio deben presentar su querella. El *Puerto Rico Innovation and Technology Service* (PRITS) podría desarrollar un sistema integrado para recibir, gestionar y ofrecer actualizaciones sobre querellas, con el fin de reducir la confusión y garantizar rendición de cuentas.

Referencias

Brown, E., Caraco, D. y Pitt, R. 2004. Illicit Discharge Detection and Elimination: A Guidance Manual for Program Development and Technical Assessments. USEPA.

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 Integral de Infraestructura del Caño Martín Peña. 2022.

Estuario. Julio de 2000. Plan Integral de Manejo y Conservación del Estuario de la Bahía de San Juan. Capítulo Tres: Plan de acción de calidad del agua y sedimentos.

Estuario. 2025. Certificación de Ciudadano Científico.

Habel, S., Fletcher, C. H., Barbee, M. M. y 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.

- 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. En: Programa del Estuario de la Bahía de San Juan, ed. 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. Implementation of a Water Quality Restoration Strategy at the San Juan Bay Estuary and the Río Grande de Loíza (Below Dam) Estuary Contributing Zone (Phase II). Progress Report Encompassing Period From November 1, 2019, to September 30, 2024. Corporation for the Conservation of the San Juan Bay Estuary, SJBE Contract Number C-72-250-03.
- Martínez, G. A., M. A. Vázquez y Y. Bermúdez. 2022. Evaluation of unanticipated spill reports from AAA's sanitary pump stations 2016–2021. University of Puerto Rico College of Agricultural Sciences, Mayagüez, PR.
- Ortiz Zayas, J. R., E. Cuevas, O. L. Mayol Bracero, L. Donoso, I. Trebs, D. Figueroa Nieves y W. H. McDowell. 2006. Urban influences on the nitrogen cycle in Puerto Rico. *Biogeochemistry* 79:109–133.
- AAA. 2025. Capital Improvement Program – Interactive Map.
- AAA. 2020. Five Year Strategic Plan 2021–2025.
- AAA. Consent Decree (United States of America v. Puerto Rico Aqueduct and Sewer Authority). 10 de mayo de 2016.
- AAA. Septiembre de 2014. Climate Change Vulnerability Analysis.
- Rodríguez-Sierra, C. J., Mansilla-Rivera, I. y Bauzá-Ortega, J. F. 2025. Passive sampling of contaminants of emerging concern in a Caribbean urban estuary of Puerto Rico. *Marine Pollution Bulletin*, 213, 117674.
- Sepúlveda-Rivera, A. y J. Carbonell. 1988. Cangrejos-Santurce: Historia ilustrada de su desarrollo urbano (1519–1950). Centro de Investigaciones. CARIMAR/Oficina Estatal de Preservación Histórica. 85 pp.
- Vila Biaggi, I. M. 2019. Caño Martín Peña Urban Water Location Work Plan. Caño Martín Peña, San Juan, Puerto Rico.
- Webb, R. M. T. y F. Gómez Gómez. 1998. Synoptic survey of water quality and bottom sediments. San Juan Bay estuary system, Puerto Rico, December 1994–July 1995. Water Resources Investigations Report 97-4144. U.S. Geological Survey, San Juan, PR.
- USACE. 2016. Final Feasibility Report: Caño Martín Peña Ecosystem Restoration Project.
- USEPA. 2025. Clean Water Solutions for Puerto Rico's Isolated Communities.
- USEPA. 2023. EPA Requires Puerto Rico Aqueduct and Sewer Authority to Upgrade Sewage Infrastructure Under Modified Agreement.
- USEPA. 2021. Innovative Nutrient Removal Technologies: Case Studies of Intensified or Enhanced Treatment. Office of Water. Office of Wastewater Management, Water Infrastructure Division, Sustainable Communities and Infrastructure Branch. EPA 830-R-01-001.
- USEPA. 2021. Fact Sheet Puerto Nuevo Regional Wastewater Treatment Plant.

USEPA. 2021. AAA Bayamon Regional Wastewater Treatment Plant Fact Sheet.

USEPA. 2021. Using Nationwide and Local Data Sources to Address Decentralized Wastewater Infrastructure Challenges in the Contiguous U.S. and the Caribbean.

USEPA. 2020. Fact Sheet Carolina Regional Wastewater Treatment Plant.

USEPA. Febrero de 2019. EPA Initiative Promotes Stronger, More Effective Septic Systems in the Caribbean.

USEPA. Junio de 2011. Decision Document: Analysis of the Section 301(h) Modification of Secondary Treatment Applications for the Bayamon and Puerto Nuevo Regional Wastewater Treatment Plants.

Infraestructura de aguas pluviales

Trasfondo

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

Figura 1. Manejo del sistema de aguas pluviales

La presencia de redes de tuberías combinadas de aguas residuales y pluviales plantea desafíos únicos. En un acuerdo alcanzado en 2023, la AAA aceptó aumentar la transparencia con el público en lo que respecta a los desbordamientos de la red de alcantarillado combinado.

La cuenca del EBSJ es predominantemente urbana, con el 60.3 % del área clasificada como “suelo urbano” (Gobierno de Puerto Rico, 2015). Sin embargo, esta clasificación simplifica un problema mayor: el alto nivel de urbanización provoca el aumento significativo de las superficies impermeables, como techos, carreteras y estacionamientos, lo que reduce drásticamente la infiltración natural y aumenta el volumen y la velocidad de la escorrentía pluvial. Esto intensifica los riesgos de inundación y acelera el transporte de contaminantes hacia los cuerpos de agua. Además, la infraestructura urbana no cuenta a menudo con la capacidad o el diseño necesarios para manejar estos patrones hidrológicos alterados, lo que contribuye a inundaciones frecuentes y al deterioro ambiental (Santos Flores y Martínez-Rodríguez, 2020; Burgos-López, 2025). Este alto nivel de urbanización produce grandes volúmenes de escorrentía pluvial, particularmente en áreas como la laguna San José, donde cerca del 90 % de la entrada de agua dulce se atribuye a la escorrentía urbana (Santos Flores y Martínez-Rodríguez, 2020). Aproximadamente el 70 % de la lluvia se convirtió en afluencia a Torrecilla, San José y Piñones, lo que elevó los niveles de los cuerpos de agua hasta un punto en que no regresaron a sus niveles normales durante el período de muestreo (Santos Flores y Martínez-Rodríguez, 2020).

Estos cuerpos de agua acumulan los contaminantes provenientes de la cuenca y los arrastran durante eventos de lluvia intensa y períodos de inversión del flujo. En particular, durante las lluvias fuertes y la inversión del flujo, estas lagunas y cuerpos de agua estuarinos transportan los nutrientes acumulados, patógenos, sedimentos y otros contaminantes aguas abajo hacia la costa y el océano Atlántico, afectando potencialmente los ecosistemas marinos y la calidad del agua. Este proceso de exportación amplía el alcance espacial de la contaminación más allá del estuario y puede causar floraciones algales nocivas y otras alteraciones ecológicas en las zonas costeras (Ramírez et al., 2012). Comprender esta dinámica de contaminantes es fundamental para un manejo eficaz de la cuenca y de la costa.

La ciénaga Las Cucharillas en Cataño desempeña una función en la protección contra inundaciones y la mejora de la calidad del agua, actuando como una esponja para absorber grandes volúmenes de escorrentía. La ciénaga está compuesta principalmente por humedales herbáceos, manglares y aguas abiertas. Su hidrología está influenciada por las aguas pluviales, los ciclos de marea y la escorrentía proveniente de áreas urbanas, así como por una estación de bombeo operada por el DRNA para el control de inundaciones durante eventos de lluvia intensa en las comunidades aledañas (Ramírez et al., 2012). Se observan obstrucciones y reflujos de aguas residuales sin tratar en los puntos de descarga cuando ocurren eventos meteorológicos extremos e inundaciones (Bauzá-Ortega, 2015). Además, las inundaciones se han convertido en una preocupación cada vez mayor en toda la cuenca del EBSJ, exacerbada por la expansión urbana, la deforestación en la cuenca alta, la impermeabilización y el aumento del nivel del mar, entre otros factores de estrés. Una obra clave para atender las inundaciones es el Proyecto de Reducción de Daños por Inundación del Río Puerto Nuevo, que implica la canalización de más de 17 kilómetros del río Piedras en San Juan para reducir el riesgo de inundaciones en áreas densamente urbanizadas (USACE, 2023). Los proyectos de control de inundaciones diseñados mediante ingeniería, que incorporan componentes estructurales y no estructurales, son complementos vitales de los esfuerzos de manejo integral de las aguas pluviales.

La urbanización 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 zonas naturales de infiltración por superficies impermeables, como techos y carreteras, agrava los volúmenes de escorrentía y la sedimentación, lo que conduce a mayores cargas de contaminantes que entran al estuario. En consecuencia, estos contaminantes pueden ingresar al EBSJ y afectar sus funciones ecológicas durante meses o incluso años (Lugo y Bauzá Ortega, 2024). Las herramientas de planificación actuales, como el Plan de Uso de Terrenos de Puerto Rico, no reconocen las contribuciones hidrológicas y ecosistémicas de las superficies permeables, clasificándolas uniformemente como “suelo urbano” (Burgos-López, 2025). Esta simplificación pasa por alto su papel crítico en la infiltración de aguas pluviales, el enfriamiento urbano y la mitigación de desafíos ambientales. Tampoco debe ignorarse el papel de la infraestructura de transporte, ya que las carreteras y autopistas contribuyen de manera significativa a la escorrentía pluvial y al deterioro ambiental. Como destacan los hallazgos de Burgos-López, “la infraestructura de transporte también desempeña un papel significativo en la configuración de la dinámica urbana”, lo que subraya la necesidad de una planificación integrada que incluya soluciones de infraestructura verde (2025).

Ante estos retos, resulta esencial actualizar y mejorar los mapas integrales de los sistemas de drenaje de la cuenca del EBSJ para un manejo eficaz del agua y estrategias de mitigación de inundaciones. Los mapas de drenaje precisos y detallados proporcionan información crítica sobre la infraestructura pluvial, incluyendo patrones de drenaje, trayectorias de flujo y áreas propensas a inundaciones. La actualización de los mapas de drenaje contribuye a mejorar los procesos de planificación y toma de decisiones. Estos procesos deben incluir participación comunitaria y aportaciones de las partes interesadas locales. Involucrar a residentes, organizaciones comunitarias y empresas en el proceso de mapeo suele añadir información valiosa sobre los problemas locales de drenaje y aumentar la conciencia pública sobre los desafíos del manejo de las aguas pluviales.

Además, existen áreas significativas dentro de la cuenca del EBSJ que carecen por completo de infraestructura adecuada. Estas áreas a menudo dependen de sistemas de drenaje informales o no cuentan con soluciones de manejo de aguas pluviales, lo que incrementa la vulnerabilidad durante lluvias intensas y eventos extremos. El Distrito de Planificación Especial del Caño Martín Peña sufre condiciones degradadas

del canal y desarrollo comunitario informal, lo que contribuye a problemas crónicos de inundación. Muchas áreas carecen de sistemas formales de alcantarillado pluvial y tienen infraestructura hídrica deficiente, lo que provoca inundaciones frecuentes en el interior y descargas directas de aguas residuales en los canales. A menudo, los sistemas están obstruidos o defectuosos, lo que plantea riesgos ambientales y de salud adicionales (Proyecto ENLACE, 2022). Además, las comunidades dentro de la región metropolitana de San Juan que forman parte de la cuenca del EBSJ enfrentan importantes retos debido a una infraestructura de aguas pluviales inadecuada o inexistente. Muchos barrios, particularmente aquellos en áreas bajas o de rápida urbanización, carecen de sistemas de drenaje adecuados para manejar eficazmente la escorrentía pluvial. Esta deficiencia provoca inundaciones frecuentes, daños a la propiedad y mayores riesgos para la salud pública por contaminantes transmitidos por el agua durante eventos de lluvia. Asimismo, la ausencia de un manejo integral y eficaz de aguas pluviales contribuye al deterioro de la calidad del agua en los cuerpos hídricos locales.

Sin la infraestructura adecuada, es posible que la escorrentía pluvial sobrepase las rutas naturales de drenaje. La infraestructura adecuada incluye canales de drenaje, alcantarillas, cuencas de retención y desagües pluviales bien diseñados y mantenidos, capaces de manejar los volúmenes de escorrentía locales. También son problemáticas las prácticas de mantenimiento insuficientes, como no remover escombros, sedimentos y vegetación que obstruyen el drenaje y causa inundaciones localizadas. El mantenimiento eficaz es esencial para asegurar que la infraestructura de aguas pluviales funcione correctamente y reduzca los riesgos de inundación (Bauzá-Ortega, 2015). La infraestructura pluvial inadecuada no solo amenaza el equilibrio ecológico del EBSJ, sino que también plantea serios riesgos de salud pública para las comunidades que dependen de los recursos hídricos de la cuenca para su recreación y subsistencia.

Para mejorar la infraestructura de aguas pluviales en la cuenca, se debe considerar una combinación de soluciones grises, verdes e híbridas. La infraestructura gris se refiere a sistemas tradicionales de ingeniería, como los drenajes pluviales diseñados para manejar flujos de agua y alejar las aguas pluviales de las zonas urbanas mediante tuberías y conductos. En contraste, la infraestructura verde abarca sistemas y procesos naturales, como humedales y áreas vegetadas, para absorber, reducir y manejar las aguas pluviales, al tiempo que brinda beneficios ecológicos (USEPA, 2017). Dada la interdependencia entre infraestructura gris y verde, puede ser necesario desarrollar soluciones híbridas que integren ambos enfoques. Fomentar la colaboración entre sistemas diseñados y ecosistemas naturales ayuda a fortalecer la resiliencia de las estrategias de manejo del agua en el EBSJ. Un enfoque híbrido contribuye a mejorar la calidad del agua y promover los servicios ecosistémicos, que son productos socialmente valorados de los ecosistemas y dependen de estructuras y procesos autorregulados o manejados (USACE, 2013). En el caso del EBSJ, ejemplos de servicios ecosistémicos incluyen la mitigación de inundaciones, la purificación del agua y la provisión de hábitat.

Las prácticas de desarrollo sostenible se han vuelto cada vez más esenciales en las regiones urbanas para reducir impactos ambientales, aumentar la eficiencia energética y mejorar el bienestar comunitario. Las prácticas de infraestructura verde, como techos verdes, pavimentos permeables, jardines pluviales y cunetas de biorretención ofrecen soluciones eficaces para aumentar la permeabilidad en propiedades privadas. Estas características imitan procesos naturales al capturar, infiltrar y filtrar aguas pluviales en el sitio, reduciendo así el volumen de escorrentía, mitigando riesgos de inundación y mejorando la calidad del agua (USEPA, 2021). Además, la certificación Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) proporciona un marco ampliamente reconocido para promover construcciones y operaciones

ambientalmente responsables, con énfasis en eficiencia energética, conservación del agua, materiales sostenibles y calidad ambiental interior (Consejo de Construcción Ecológica de Estados Unidos [USGBC], 2023). Los proyectos de nueva construcción que cumplan con los estándares LEED pueden reducir sustancialmente la huella ecológica del desarrollo urbano al minimizar el uso de recursos y mitigar la contaminación, apoyando así los objetivos más amplios de protección de la cuenca y resiliencia climática en el sistema del EBSJ.

Las prioridades legales e institucionales que orientan la infraestructura de aguas pluviales en Puerto Rico están delineadas en los acuerdos por consentimiento del Municipio de San Juan, DTOP y DRNA. Estos acuerdos por consentimiento establecen requisitos específicos dirigidos a mejorar el manejo de aguas pluviales y garantizar el cumplimiento con los estándares federales de calidad del agua. Por ejemplo, el acuerdo por consentimiento para el Municipio de San Juan exige la implementación de medidas para reducir los desbordamientos de alcantarillado combinado, que afectan directamente la calidad del agua pluvial y la efectividad de la infraestructura (Consent Decree, 2015).

La infraestructura de aguas pluviales en la cuenca del EBSJ enfrenta numerosos desafíos, exacerbados por la urbanización, los eventos meteorológicos extremos, el aumento del nivel del mar y las complejidades regulatorias. Abordar estos asuntos requiere un enfoque integral que incorpore un mejor monitoreo, la participación comunitaria y el cumplimiento de las políticas regulatorias.

Objetivo

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

Acciones

MI-06 Diseñar y construir un sistema de aguas pluviales para las comunidades ubicadas en la parte este del Caño Martín Peña y otras comunidades vecinas que carecen de infraestructura adecuada.

Actividades

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Mejorar el sistema de aguas pluviales para las comunidades a lo largo del Caño Martín Peña para atender las necesidades de infraestructura previamente identificadas.	Reducir los contaminantes que llegan al sistema del EBSJ provenientes de la escorrentía pluvial en estas comunidades.	Proyectos de aguas pluviales completados en las comunidades a lo largo del Caño Martín Peña.	Líder: AAA Socios implementadores: municipios	En progreso	Más de 5 años	TBD	USEPA, Fondo Rotatorio Estatal, AAA, DRNA, municipios, USACE

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
2. Identificar áreas prioritarias, analizar patrones de drenaje y determinar riesgos de inundación con la participación de miembros de la comunidad y partes interesadas locales.	Completar un informe de evaluación de riesgos que identifique áreas prioritarias con un análisis detallado de patrones de drenaje y vulnerabilidades de inundación.	Análisis de áreas prioritarias finalizado.	Líderes: DRNA, DTOP, municipios Socios implementadores: comunidad científica, grupos comunitarios y Estuario	Pendiente	0-2 años	TBD	USEPA, DRNA, municipios, DTOP, USACE
3. Desarrollar un plan de manejo de aguas pluviales para la cuenca del EBSJ e implementar las recomendaciones prioritarias.	Identificar áreas prioritarias e implementar proyectos para mejoras de infraestructura pluvial.	Proyectos prioritarios del plan de manejo de aguas pluviales desarrollados.	Líderes: Estuario, AAA Socios implementadores: DRNA, municipios, academia, comunidad científica y grupos comunitarios	Pendiente	3-5 años	TBD	Fondo Rotatorio Estatal, USEPA, AAA, DRNA, municipios, USACE

Requisitos regulatorios y de política pública

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

***NUEVO* MI-07 Diseñar y mejorar la infraestructura actual para apoyar el manejo de aguas pluviales en la región metropolitana de San Juan.**

Actividades

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Evaluar la infraestructura para identificar deficiencias, componentes envejecidos y áreas propensas a inundaciones o contaminación, con aportaciones de miembros de la comunidad y partes interesadas.	Completar un informe detallado de evaluación de infraestructura que identifique deficiencias, componentes envejecidos y áreas vulnerables.	Evaluación de toda la infraestructura crítica finalizada.	Líderes: DRNA, DTOP, municipios Socios implementadores: comunidad científica, grupos comunitarios y Estuario	Pendiente	3-5 años	TBD	USEPA, DRNA, municipios, DTOP, USACE
2. Realizar una evaluación hidrológica e hidráulica de la cuenca del río Piedras para identificar áreas prioritarias.	Completar un informe de evaluación hidrológica e hidráulica que identifique áreas prioritarias para intervención.	Evaluación hidrológica e hidráulica finalizada e información divulgada públicamente.	Líderes: DRNA, AAA, comunidad científica Socios implementadores: Municipio de San Juan, La Alianza, Coalición Comunitaria, Estuario y USACE	Pendiente	3-5 años	TBD	USEPA, DRNA, AAA, USACE
3. Desarrollar diseños de modernización con un enfoque en infraestructura verde, con la participación de comunidades locales y partes interesadas.	Completar planes de diseño de modernización que destaquen soluciones de infraestructura verde con aportaciones de la comunidad y las partes interesadas.	Diseños de modernización de infraestructura verde finalizados.	Líderes: DRNA, AAA, Municipio de San Juan, Estuario Socios implementadores: comunidad científica, La Alianza, Coalición Comunitaria, Para La Naturaleza, USACE, DTOP, AAA y academia	Pendiente	3-5 años	TBD	USEPA, DRNA, AAA, USACE

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
4. Asegurar financiamiento y aprobaciones regulatorias para luego implementar la construcción e instalación.	Asegurar financiamiento y obtener aprobaciones regulatorias para la implementación del proyecto.	Financiamiento y aprobaciones regulatorias obtenidos.	Líderes: DRNA, DTOP, municipios Socios implementadores: comunidad científica y grupos comunitarios	Pendiente	Más de 5 años	TBD	USEPA, DRNA, municipios, DTOP, USACE

Requisitos regulatorios y de política pública

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

****NUEVO* MI-08 Desarrollar e implementar un plan de manejo de aguas pluviales a nivel de cuenca para la región metropolitana de San Juan.***

Actividades

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Realizar un estudio sobre las inversiones de flujo para comprender sus causas, frecuencia e impactos en la calidad del agua y las inundaciones.	Completar un estudio exhaustivo que detalle las causas, frecuencia e impactos de las inversiones de flujo en la calidad del agua y las inundaciones.	Estudio finalizado y recomendaciones aplicables recibidas.	Líder: Estuario Socios implementadores: DRNA, AAA, DTOP, municipios, comunidad científica y grupos comunitarios	Pendiente	3-5 años	TBD	USEPA, DRNA, municipios, DTOP
2. Actualizar los mapas de drenaje y cobertura del suelo para la región metropolitana de San Juan y crear un mapa georreferenciado del sistema de manejo de aguas pluviales.	Completar mapas actualizados de drenaje, cobertura del suelo y sistema de aguas pluviales, incorporando datos recientes y verificación de campo.	Mapas actualizados entregados a las partes interesadas.	Líder: Estuario Socios implementadores: DRNA, AAA, DTOP, municipios, comunidad científica y grupos comunitarios	Pendiente	3-5 años	TBD	USEPA, DRNA, municipios, DTOP

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
3. Desarrollar el plan de manejo de aguas pluviales con participación comunitaria para identificar los principales factores de estrés y prioridades.	Mejorar el manejo de aguas pluviales.	Aportaciones comunitarias recopiladas para la mejora del manejo de aguas pluviales.	Líder: Estuario Socios implementadores: DRNA, AAA, DTOP, municipios, comunidad científica y grupos comunitarios	Pendiente	Más de 5 años	TBD	USEPA, DRNA, municipios, DTOP

Requisitos regulatorios y de política pública

Cumplimiento con los requisitos del permiso MS4 y el Reglamento #40.

****NUEVO* MI-09 Diseñar e implementar las mejoras necesarias a la infraestructura pluvial en la cuenca del río Piedras a fin de apoyar su capacidad natural para manejar las aguas pluviales y prevenir inundaciones.***

Actividades

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Realizar una evaluación hidrológica e hidráulica de la cuenca del río Piedras para identificar áreas prioritarias.	Completar un informe de evaluación hidrológica e hidráulica que identifique las áreas prioritarias para intervención.	Evaluación hidrológica e hidráulica finalizada e información divulgada públicamente.	Líderes: DRNA, AAA, comunidad científica Socios implementadores: Municipio de San Juan, La Alianza, Coalición Comunitaria, Estuario y USACE	Pendiente	3-5 años	TBD	USEPA, DRNA, AAA, USACE
2. Desarrollar diseños de modernización con un enfoque en infraestructura verde, con la participación de comunidades locales y partes interesadas.	Completar planes de diseño de modernización que destaquen soluciones de infraestructura verde con aportaciones de la comunidad y las partes interesadas.	Diseños de modernización de infraestructura verde finalizados.	Líderes: DRNA, AAA, Municipio de San Juan, Estuario Socios implementadores: comunidad científica, La Alianza, Coalición Comunitaria, Para La Naturaleza, USACE, DTOP, AAA, academia y USACE	Pendiente	3-5 años	TBD	USEPA, DRNA, AAA, USACE

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
3. Ampliar el monitoreo para recopilar datos adicionales sobre los flujos y niveles de agua antes y después del proyecto.	Ampliar la información para evaluar los beneficios del proyecto.	Monitoreo ampliado implementado en el área del proyecto.	Líder: DRNA Socios implementadores: Municipio de San Juan, USACE y Estuario	Pendiente	Más de 5 años	TBD	DRNA, USACE
4. Mantener la infraestructura para permitir el flujo adecuado de las aguas pluviales.	Mejorar el flujo de las aguas pluviales.	Mantenimiento regular del sistema de aguas pluviales implementado.	Líder: Municipio de San Juan Socio implementador: DRNA	Pendiente	3-5 años	TBD	Municipio de San Juan, DRNA

Requisitos regulatorios y de política pública

Ninguno.

MI-10 Restaurar y mejorar la conectividad de los corredores ribereños a lo largo de los tributarios del EBSJ.

Actividades

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Realizar una evaluación de las condiciones de los corredores ribereños, identificar vacíos y caracterizar las especies de flora para desarrollar planes de siembra.	Identificar corredores para restauración con base en la evaluación de las condiciones existentes.	Corredores ribereños identificados como aptos para restauración.	Líderes: DRNA, Servicio Forestal de Estados Unidos (USFS), Servicio de Conservación de Recursos Naturales (NRCS) Socios implementadores: municipios y Estuario	Pendiente	0-2 años	TBD	DRNA, USFS, NRCS
2. Desarrollar medidas de mejora y restauración, así como planes de mantenimiento, basados en la condición de los corredores ribereños seleccionados.	Mejorar la condición de los corredores ribereños.	Plan de restauración y mantenimiento para corredores ribereños creado e implementado.	Líderes: DRNA, USFS, NRCS Socios implementadores: municipios y Estuario	En curso	3-5 años	TBD	DRNA, USFS, NRCS, municipios

Requisitos regulatorios y de política pública

Fortalecer las regulaciones de uso del suelo para evitar el desarrollo no autorizado en estas regiones. Hacer cumplir la Ley 1439-24, que amplía las áreas protegidas para los corredores riparios o ribereños.

***NUEVO* MI-11 Restaurar y mantener los regímenes naturales de caudal de los tributarios para maximizar su potencial de manejo de las aguas pluviales.**

Actividades

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Desarrollar e implementar planes de restauración que prioricen el restablecimiento de la morfología natural de los cauces y la conectividad con las llanuras aluviales, y monitorear la recuperación del flujo, los beneficios para el manejo de aguas pluviales y la salud ecológica.	Completar y aprobar planes de restauración enfocados en la morfología natural de los cauces y la conectividad con las llanuras aluviales.	Planes desarrollados y actividades de restauración implementadas.	Líderes: DRNA, AAA, comunidad científica, Estuario Socios implementadores: municipios y empresas privadas de servicios públicos	Pendiente	3-5 años	TBD	USEPA, DRNA, AAA
2. Eliminar o adaptar las barreras que interrumpen los patrones naturales de caudal.	Aumentar el número de las barreras eliminadas o adaptadas para restaurar los patrones naturales de caudal.	Barreras identificadas que afectan el caudal eliminadas o adaptadas.	Líderes: DRNA, AAA, empresas privadas de servicios públicos Socios implementadores: municipios	Pendiente	Más de 5 años	TBD	USEPA, DRNA, AAA, Fondo Rotatorio Estatal

Requisitos regulatorios y de política pública

Ninguno.

MI-12 Desarrollar y emitir permisos NPDES para regular las descargas de aguas pluviales en áreas urbanizadas de la cuenca del EBSJ, como la Playa del Condado, que aportan descargas puntuales de aguas pluviales al sistema y sus tributarios.

Actividades

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Realizar una evaluación del sistema de aguas pluviales para identificar carencias y necesidades de mantenimiento.	Completar un informe integral de evaluación del sistema de aguas pluviales que detalle la falta de infraestructura y las necesidades de mantenimiento.	Evaluación del sistema de aguas pluviales finalizada.	Líderes: AAA, municipios Socios implementadores: DRNA, empresas privadas de servicios públicos y Estuario	Pendiente	2-3 años	TBD	USEPA, Fondo Rotatorio Estatal, DRNA
2. Apoyar a las jurisdicciones en el diseño de infraestructura de aguas pluviales utilizando las mejores prácticas de manejo (BMP, por sus siglas en inglés) y técnicas de infraestructura verde.	Reducir contaminantes mediante BMP e infraestructura verde.	Asistencia técnica provista a las jurisdicciones, resultan en la adopción de diseños de BMP e infraestructura verde.	Líder: DRNA Socios implementadores: AAA, municipios, empresas privadas de servicios públicos y Estuario	Pendiente	3-5 años	TBD	USEPA, Fondo Rotatorio Estatal, DRNA
3. Desarrollar y emitir permisos NPDES para los MS4 dentro de la cuenca del EBSJ.	Aumentar número de permisos NPDES emitidos y tasa de cumplimiento entre los operadores.	Incrementado el cumplimiento de permisos dentro de la cuenca.	Líder: DRNA Socios implementadores: AAA, municipios y empresas privadas de servicios públicos	Pendiente	3-5 años	TBD	USEPA, DRNA
4. Facilitar la colaboración regional para el uso compartido de recursos.	Aumentar el número de reuniones de colaboración regional celebradas y acuerdos de recursos compartidos establecidos.	Reuniones de colaboración organizadas.	Líderes: Estuario, DRNA Socios implementadores: AAA, municipios y empresas privadas de servicios públicos	Pendiente	2-3 años	TBD	USEPA, Fondo Rotatorio Estatal, DRNA

Requisitos regulatorios y de política pública

Las descargas de MS4 están reguladas bajo la Ley de Agua Limpia. Conforme a esta ley, la USEPA emitió reglamentos bajo el programa NPDES para minimizar, reducir, controlar o eliminar las descargas de aguas

pluviales contaminadas a través de los sistemas de alcantarillado pluvial. El cumplimiento de los permisos es necesario para reducir los efectos de las aguas pluviales.

MI-13 Validar e implementar el Plan Maestro de Infraestructura Verde en la cuenca del EBSJ.

Actividades

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Validar el Plan Maestro de Infraestructura Verde.	Completar un informe de validación que confirme la precisión, viabilidad y aceptación por las partes interesadas del Plan Maestro de Infraestructura Verde.	Actividades de validación realizadas.	Líderes: Estuario, AAA, municipios Socios implementadores: DRNA y academia	Pendiente	3-5 años	TBD	USEPA, Fondo Rotatorio Estatal, DRNA, USACE
2. Desarrollar y distribuir guías técnicas y recursos sobre la instalación y el mantenimiento de elementos de infraestructura verde.	Aumentar el número de guías técnicas desarrolladas y distribuidas, y métricas de participación de usuarios.	Guías técnicas integrales producidas y distribuidas.	Líderes: DRNA, Estuario Socios implementadores: municipios, comunidad científica, academia y grupos comunitarios locales	Pendiente	0-2 años	TBD	USEPA, DRNA
3. Llevar a cabo campañas de educación y divulgación para informar a propietarios privados sobre los beneficios de las prácticas de infraestructura verde.	Aumentar el número de eventos de educación y divulgación realizados, y cantidad de materiales informativos distribuidos a propietarios privados.	Eventos de divulgación realizados.	Líderes: DRNA, Estuario Socios implementadores: municipios, comunidad científica, academia y grupos comunitarios locales	Pendiente	0-2 años	TBD	USEPA, DRNA

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
4. Establecer incentivos financieros o programas de asistencia para fomentar la instalación de infraestructura verde.	Aumentar el número de programas de incentivos financieros establecidos y cantidad de fondos asignados para instalaciones de infraestructura verde.	Programas de incentivos financieros establecidos.	Líderes: Legislatura, DRNA, Estuario Socios implementadores: municipios, comunidad científica, academia y grupos comunitarios locales	Pendiente	3-5 años	TBD	USEPA, DRNA
5. Evaluar las prácticas urbanas y agrícolas actuales y desarrollar un plan para implementar BMP tradicionales y basadas en la naturaleza en áreas urbanas y agrícolas con mayor necesidad.	Priorizar una lista de BMP tradicionales y basadas en la naturaleza.	Lista de BMP para áreas urbanas y agrícolas creada.	Líderes: Departamento de Agricultura de Puerto Rico (PRDA), Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA), Estuario Socios implementadores: academia, comunidad científica, propietarios de terrenos agrícolas y municipios	Pendiente	3-5 años	TBD	USEPA, municipios, PRDA, USDA
6. Implementar BMP en las áreas prioritarias identificadas.	Reducir los impactos de la escorrentía pluvial en la cuenca del EBSJ.	BMP implementadas en las áreas prioritarias.	Líderes: PRDA, USDA Socios implementadores: municipios	Pendiente	Más de 5 años	TBD	USEPA, PRDA, USDA
7. Evaluar la cuenca para identificar ubicaciones urbanas clave para aumentar la cobertura vegetal y preparar un plan de reforestación que identifique localizaciones, tipos de árboles aceptados y requisitos de cuidado.	Identificar ubicaciones con necesidades de cobertura arbórea.	Evaluación completada identifica ubicaciones urbanas clave con cobertura arbórea insuficiente.	Líderes: DRNA, USFS, NRCS Socios implementadores: municipios, academia, organizaciones locales y Estuario	Pendiente	3-5 años	TBD	DRNA, USFS, NRCS

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
8. Implementar el plan mediante la siembra de árboles en las ubicaciones prioritarias identificadas, en coordinación con organizaciones locales.	Aumentar la cobertura arbórea en las áreas urbanas.	Árboles sembrados en ubicaciones prioritarias identificadas.	Líderes: DRNA, USFS, NRCS Socios implementadores: municipios y organizaciones locales	Pendiente	Más de 5 años	TBD	DRNA, USFS, NRCS, USEPA

Requisitos regulatorios y de política pública

Es posible que se requieran modificaciones a los códigos y ordenanzas locales para permitir la implementación de BMP de aguas pluviales más innovadoras y verdes, así como para incentivar la siembra de árboles nativos.

****NUEVO* MI-14 Trabajar con la legislatura, las agencias, los municipios y los desarrolladores privados para impulsar la construcción de proyectos certificados LEED.***

Actividades

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Aumentar el número de personas acreditadas en LEED en la región del EBSJ.	Aumentar el número de nuevos profesionales acreditados en LEED certificados EN la región del EBSJ.	Aumento en el número de personas acreditadas en LEED.	Líder: DRNA Socios implementadores: municipios, desarrolladores, academia y comunidad científica	Pendiente	Más de 5 años	TBD	DRNA, academia
2. Colaborar con agencias de planificación y regulatorias para integrar requisitos LEED en los códigos de zonificación y construcción, y proporcionar incentivos para alentar a los desarrolladores a buscar la certificación LEED.	Involucrar a las agencias de planificación y regulatorias para que adopten requisitos e incentivos LEED en los códigos de zonificación y construcción.	Colaboración con agencias clave establecida y programas de incentivos implementados.	Líderes: DRNA, Estuario Socios implementadores: municipios, desarrolladores, academia y comunidad científica	Pendiente	3-5 años	TBD	USEPA, DRNA, Fondo Rotatorio Estatal, municipios

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
3. Coordinar esfuerzos, compartir mejores prácticas y brindar asistencia técnica a las partes interesadas en el desarrollo de proyectos LEED.	Aumentar el número de reuniones de coordinación celebradas, mejores prácticas compartidas y sesiones de asistencia técnica realizadas para las partes interesadas.	Reuniones de coordinación realizadas.	Líderes: DRNA, Estuario Socios implementadores: municipios, desarrolladores, academia y comunidad científica	Pendiente	0-2 años	TBD	USEPA, DRNA, Fondo Rotatorio Estatal, municipios

Requisitos regulatorios y de política pública

Lograr el cumplimiento de las ordenanzas locales de zonificación, los códigos de construcción y los procesos de permisos.

****NUEVO* MI-15 Realizar un estudio para evaluar la frecuencia y duración de las inversiones de flujo causadas por la escorrentía pluvial, con el fin de mejorar las estimaciones del balance de masas y actualizar los mapas de drenaje.***

Actividades

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Desarrollar un estudio sobre inversiones de flujo de aguas pluviales, recopilar datos adicionales y compartir un informe con hallazgos y recomendaciones para posibles proyectos.	Mejorar los datos para evaluar los efectos de las inversiones de flujo de aguas pluviales.	Estudio sobre flujo e inversiones de flujo pluvial e informe sobre posibles proyectos completados.	Líder: Estuario Socios implementadores: academia, comunidad científica y organizaciones locales	Pendiente	3-5 años	TBD	USEPA, DRNA
2. Implementar las recomendaciones de proyectos derivadas del estudio.	Reducir los efectos de las inversiones de flujo de aguas pluviales en el sistema del EBSJ.	Recomendaciones de proyectos prioritarios derivadas del estudio implementadas.	Líderes: DRNA, DTOP Socios implementadores: municipios	Pendiente	Más de 5 años	TBD	USEPA, Fondo Rotatorio Estatal, DRNA

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
3. Reunir los mapas y datos de drenaje existentes, realizar levantamientos para verificar la información y recopilar nueva información, y crear una base de geodatos.	Crear una base de geodatos integral de la información sobre el drenaje.	Base de datos creada.	Líderes: AAA, DRNA Socios implementadores: academia, comunidad científica, municipios y Estuario	Pendiente	0-2 años	TBD	DRNA, AAA, municipios, USACE
4. Publicar mapas actualizados y hallazgos.	Compartir conocimiento para la toma de decisiones sobre el manejo de aguas pluviales.	Informe de hallazgos creado y distribuido a las partes interesadas.	Líderes: AAA, DRNA Socios implementadores: academia, comunidad científica, municipios y Estuario	Pendiente	3-5 años	TBD	DRNA, AAA, municipios, USACE

Requisitos regulatorios y de política pública

Ninguno.

***NUEVO* MI-16 Añadir el punto de descarga de la estación de bombeo para el control de inundaciones De Diego a la lista de aguas contaminadas.**

Actividades

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Añadir el segmento De Diego (FCPS Costa-PREC13) al este del puente de Condado Bridge a Punta Las Marías a la lista 303(d) de cuerpos de agua contaminados.	Añadir el segmento del cuerpo de agua a la lista 303(d) de cuerpos de agua contaminados.	Segmento añadido a la lista de aguas contaminadas.	Líder: DRNA Socios implementadores: DRNA y Estuario	Pendiente	0-2 años	TBD	DRNA
2. Determinar los estándares biológicos y de nutrientes apropiados para este segmento.	Establecer estándares biológicos y de nutrientes para el segmento contaminado.	Estándares biológicos y de nutrientes establecidos.	Líder: DRNA Socios implementadores: DRNA y Estuario	Pendiente	0-2 años	TBD	DRNA
3. Evaluar la extensión de la zona de mezcla para el punto de descarga.	Establecer una zona de mezcla para el punto de descarga.	Zona de mezcla establecida.	Líder: DRNA Socios implementadores: DRNA y Estuario	Pendiente	Más de 5 años	TBD	DRNA

Requisitos regulatorios y de política pública

Se requiere la aprobación de la USEPA para incluir la estación de bombeo para el control de inundaciones De Diego en la modificación del permiso NPDES.

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.

Burgos-López, C. 2025. Understanding Urban Surfaces: Nature-Based Solutions (NbS) for Stormwater Management. *Journal of Water Resource and Protection*, 17, 307–321.

DRNA. 2020. Plan Integral de Recursos de Agua de Puerto Rico.

DRNA. Octubre de 2016. Programa de Manejo de Escorrentías (SWMP, por sus siglas en inglés).

Estuario ATLAS. s. f. Plan de Uso de Terrenos en la región del Estuario de la Bahía de San Juan. <https://estuario.org/uso-de-terrenos/>

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.

Martínez, G. 2024. University of Puerto Rico, Mayagüez Campus. De Diego Water Pump Report.

Proyecto ENLACE. 2022. Plan Maestro Integral de Infraestructura del Caño Martín Peña.

Ramírez, A., A. Engman, K. G. Rosas, O. Pérez Reyes y D. M. Martinó Cardona. 2012. Urban impacts on tropical island streams: some key aspects influencing ecosystem response. *Urban Ecosystems* 15:315–325.

Santos Flores, C. J. y A. Martínez-Rodríguez. 2020. A Preliminary Characterization of the Plankton of San José Lagoon, Puerto Rico.

USACE. 2023. Rio Puerto Nuevo Flood Damage Reduction Project.

USGBC. 2023. LEED Rating System.

United States of America v. The Municipality of San Juan, The Puerto Rico Department of Natural and Environmental Resources, the Puerto Rico Department of Transportation and Public Works, The Puerto Rico Highway and Transportation Authority, and The Commonwealth of Puerto Rico. Consent Decree, October, 2015.

USDOJ. 2015. Puerto Rico's Government to Make Major Upgrades to San Juan Water Infrastructure in Settlement with the Federal Government.

USEPA. 2023. Developing a Stormwater Pollution Prevention Plan (SWPPP).

USEPA. 2021. What is Green Infrastructure?

USEPA. 2017. Different Shades of Green: Green Infrastructure Research at the U.S. Environmental Protection Agency.

USEPA. 2016. Green Building.

USEPA. 2015. Researching Green Infrastructure in Tropical Climates.

USACE. 2013. Using Information on Ecosystem Goods and Services in Corps Planning.

Webb, R. M. T. y F. Gómez Gómez. 1998. Synoptic survey of water quality and bottom sediments, San Juan Bay estuary system, Puerto Rico, December 1994–July 1995. Water Resources Investigations Report 97-4144. U.S. Geological Survey, San Juan, PR.

Infraestructura para mitigar la erosión y el transporte de sedimentos

Trasfondo

La transferencia de sedimentos hacia los estuarios es un proceso natural; sin embargo, la erosión, entendida como el desprendimiento y movimiento de partículas de suelo o roca por la acción del agua, el viento u otras fuerzas naturales, es un factor clave que influye en la generación y el transporte de sedimentos (USDA, 2017). En entornos urbanos, la erosión suele acelerarse por actividades humanas que alteran la superficie terrestre, lo que la hace altamente relevante para el manejo de sedimentos en el EBSJ. Las influencias antropogénicas han alterado drásticamente tanto la cantidad como la calidad de los sedimentos que ingresan al EBSJ.

Los ríos, quebradas, la escorrentía superficial y las descargas de fuentes puntuales aportan sedimentos al EBSJ. Cuando en un cuerpo de agua ocurre una sedimentación excesiva, los valores funcionales del sistema se pueden afectar. Es posible que los sedimentos modifiquen la columna de agua de maneras que inhiben funciones biológicas importantes, como la fotosíntesis, la fijación de nitrógeno y la migración. Por ello, es importante evaluar el papel que desempeñan los sedimentos en la productividad y diversidad del sistema. Los sedimentos suspendidos en la columna de agua atenúan la transmisión de luz y reducen o inhiben la productividad primaria del sistema. Cuando cargas excesivas de sedimentos entran a las aguas del estuario, los corales, pastos marinos y algas quedan enterrados y mueren. El detrito resultante de este proceso forma sedimentos que consumen oxígeno y liberan nutrientes nuevamente a la columna de agua, provocando floraciones algales nocivas y una disminución de la salud general del sistema.

Los cambios en el uso y cobertura del suelo, particularmente la urbanización caracterizada por elementos urbanos altamente alterados, como superficies impermeables, modifican drásticamente los procesos hidrológicos naturales. Estos cambios reducen la infiltración, aumentan la escorrentía superficial y favorecen la erosión y el transporte de sedimentos hacia los cuerpos de agua. Se proponen cientos de millones de dólares para dragado con el fin de restaurar las aguas del EBSJ como resultado de la descarga de sedimentos y desechos (Coto, 2024). Esta es la forma más costosa de atender el transporte de sedimentos. El método menos costoso es evitar que los sedimentos se descarguen mediante estabilización y mantenimiento. La limpieza de calles para remover sedimentos antes de que lleguen al sistema de aguas pluviales es otra BMP que reduce la necesidad de mantenimiento más costoso en los sistemas pluviales antes de que los sedimentos se descarguen al EBSJ, donde tienen mayor impacto ambiental y donde resulta más costoso removerlos. Las prácticas de manejo de aguas pluviales reguladas por normativas como el Reglamento #40 de Puerto Rico desempeñan un papel crítico en el control de la erosión y la sedimentación al exigir BMP que mitigan la escorrentía y la pérdida de suelo (Junta de Planificación, 2023). La integración de estos marcos regulatorios con la planificación del uso del suelo es esencial para controlar la generación de sedimentos en su fuente.

La proliferación de superficies impermeables, como carreteras y edificios, agrava estos problemas al aumentar la escorrentía y reducir la absorción natural de la lluvia, lo que acelera la erosión y el transporte de sedimentos. Además, la falta de infraestructura adecuada para el manejo de aguas pluviales, combinada con cambios en el uso y cobertura del suelo, intensifica la erosión del suelo y la descarga de sedimentos en el estuario, lo que socava la salud del ecosistema y aumenta el riesgo de inundaciones.

La urbanización, las modificaciones topográficas y la deforestación han incrementado significativamente la deposición de materiales orgánicos, nutrientes, metales pesados y otros contaminantes, reduciendo la claridad del agua y perjudicando la vida acuática. Estos contaminantes generan condiciones dañinas para el crecimiento de pastos marinos, moluscos e invertebrados bentónicos, resultando en sedimentos lodosos capaces de consumir oxígeno y liberar nutrientes de nuevo a la columna de agua. Este flujo de nutrientes contribuye a floraciones algales nocivas, condiciones hipóxicas y mortandad de peces, particularmente bajo condiciones anaeróbicas en las que ortofosfatos, nitratos y metales traza pueden entrar al agua. Esto ocurre porque, en ausencia de oxígeno, los procesos químicos y biológicos en los sedimentos cambian, lo que conduce a la liberación de estas sustancias. Estos procesos aumentan la biodisponibilidad de nutrientes y metales traza, exacerbando la eutrofización y los riesgos de toxicidad en el estuario. Además, datos recientes sobre concentraciones de metales pesados en sedimentos del EBSJ muestran disminuciones en la mayoría de los metales, aunque tanto el arsénico como el cromo aumentaron, y la muestra compuesta del sedimento por encima de la interfase arcillosa en la extensión de San Antonio (cerca de Condado) presentó mayores concentraciones de cobre, mercurio, níquel y plata (Anamar Environmental Consulting, Inc., 2021). Atender estos contaminantes requiere esfuerzos de limpieza dirigidos para mitigar su impacto sobre los ecosistemas del estuario.

El EBSJ ha sufrido una degradación severa, exacerbada por la rápida urbanización desde mediados del siglo XX. Históricamente, el desarrollo urbano en Puerto Rico se caracterizó por una expansión rápida con una limitada supervisión ambiental, lo que resultó en deforestación generalizada, alteración del suelo e infraestructura mal planificada (Martiniuzzi et al., 2007). Muchas comunidades se desarrollaron informalmente sin medidas adecuadas de control de aguas pluviales y erosión, lo que provocó mayores cargas de sedimentos en los cuerpos de agua. Este legado continúa afectando hoy la dinámica de la erosión y el transporte de sedimentos en la cuenca.

La construcción de viviendas precarias en humedales de manglar sensibles ha provocado la acumulación de sedimentos, escombros y desechos, obstruyendo el flujo hidráulico entre la laguna San José y la Bahía de San Juan. La mitad oriental del Caño Martín Peña, que históricamente tenía entre 200 y 400 pies de ancho, se encuentra hoy severamente comprometida, obstruida por sedimentos y contaminantes que afectan su función ecológica (Brodine, 2017).

Actualizar el mapa de cobertura y uso de suelos del EBSJ es un paso crítico para manejar eficazmente la salud ecológica del sistema. El Plan de Uso de Terrenos de Puerto Rico (2015) es el instrumento de planificación que rige la política pública sobre el uso, desarrollo y conservación de suelos en Puerto Rico por un período de diez años. Según lo establecido en el Artículo 6.007- Plan Territorial, este plan divide el suelo según sus características y valores existentes y potenciales en tres categorías básicas establecidas en el Código Municipal (Ley 107-2020): suelo urbano, suelo urbanizable y suelo rural. El Plan de Uso de Terrenos sirve como marco para reorientar y mejorar los planes, programas y procedimientos de las agencias estatales con el fin de alcanzar sus metas y objetivos. La colaboración con socios locales es vital para asegurar que los mapas actualizados de uso del suelo reflejen con precisión el desarrollo reciente. Esta colaboración facilita la recopilación de fuentes de datos y conocimiento local, lo que permite una comprensión más integral de cómo los cambios en el uso del suelo afectan la hidrología, la dinámica de sedimentos y los terrenos boscosos en la cuenca del EBSJ.

Además, el uso y desarrollo de modelos ayudará a orientar la toma de decisiones relacionadas con el manejo de sedimentos. Entre 2020 y 2024, el Dr. Luís Pérez Alegría de la Universidad de Puerto Rico en Mayagüez modeló las cargas de sedimentos y nutrientes dentro de la cuenca del EBSJ basándose en partículas de suelo y nutrientes. El modelo utiliza el Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) del Hydrologic Modeling Center del USACE, que simula procesos de precipitación y escorrentía en cuencas como las del EBSJ (Kamal et al., 2022). También se han aplicado modelos acoplados hidrodinámicos y de calidad del agua, como el Environmental Fluid Dynamics Code (EFDC) y el Three-Dimensional Hydrodynamic Eutrophication Model (HEM3D), para cuantificar la calidad potencial del agua proveniente de escorrentía pluvial, descargas industriales y otros flujos. El EFDC/HEM3D, respaldado por la USEPA, incluye características y capacidades que lo hacen superior y más aplicable a ambientes estuarinos poco profundos que otros modelos (Florida Institute of Technology, 2023). El manejo efectivo de la erosión y el transporte de sedimentos es esencial para mantener la función ecológica del EBSJ. Este enfoque es vital para restaurar la capacidad del canal para transportar eficazmente sedimentos y contaminantes, mejorando así la calidad del agua y las condiciones del hábitat en todo el estuario. Existe una relación entre los patrones de desarrollo urbano, la efectividad del manejo de aguas pluviales y el transporte de erosión y sedimentos dentro de la cuenca. El manejo deficiente de la escorrentía urbana puede aumentar las tasas de erosión, lo que a su vez eleva las cargas de sedimentos que ingresan al estuario, degradando la calidad del agua y los hábitats acuáticos. Por ello, el manejo eficaz de aguas pluviales, incluyendo medidas de control de erosión, es crucial para romper este ciclo y promover la restauración y resiliencia del estuario.

Objetivo

- Manejar los sedimentos y contaminantes que llegan al sistema estuarino como resultado de modificaciones topográficas, aumento de áreas impermeables y deforestación.
- Reducir las modificaciones topográficas, las áreas impermeables y la deforestación.

Acciones

MI-17 Reducir la carga de sedimentos en el EBSJ.

Actividades

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Evaluar las fuentes actuales de sedimentos y las tasas de sedimentación dentro de los límites del EBSJ.	Mejorar la información sobre las fuentes y la masa de sedimentos.	Fuentes de sedimentos y tasas de sedimentación identificadas y evaluadas.	Líderes: DRNA, Estuario Socios implementadores: academia y comunidad científica	En curso	0-2 años	TBD	DRNA, USEPA

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
2. Colaborar con las partes interesadas para desarrollar BMP de control de erosión y aumentar la limpieza de calles municipales.	Reducir las cargas de sedimentos en el EBSJ.	Conjunto de BMP para control de erosión establecido y mayor limpieza de calles implementada.	Líderes: DRNA, Estuario, municipios Socios implementadores: academia y comunidad científica	Pendiente	0-2 años	TBD	DRNA, USEPA, municipios
3. Implementar regulaciones y establecer directrices para reducir la escorrentía de sedimentos durante actividades de construcción y agrícolas.	Mejorar el control de erosión y la fiscalización en las obras de construcción.	Cumplimiento de las regulaciones y directrices asegurado.	Líderes: DRNA, USEPA, PRDA, USDA Socios implementadores: academia, comunidad científica y Estuario	Pendiente	3-5 años	TBD	DRNA, USEPA, PRDA, USDA

Requisitos regulatorios y de política pública

Es posible que se requiera modificar los códigos y ordenanzas locales para incorporar BMP de control de erosión.

MI-18 Actualizar el Plan de Uso de Terrenos de Puerto Rico cada diez años.

Actividades

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Realizar una revisión integral de los datos existentes sobre el uso de terrenos, incluyendo el mapa de cobertura terrestre del Plan de Manejo de Escorrentías.	Identificar discrepancias en los datos, información desactualizada o falta de datos.	Áreas clave con falta de información identificadas y priorizadas para atenderlas.	Líderes: DRNA, Estuario Socios implementadores: municipios, academia y comunidad científica	Pendiente	0-2 años	TBD	USEPA, DRNA

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
2. Compartir los hallazgos con el Plan de Uso de Terrenos actualizado y recibir comentarios de las partes interesadas y los miembros de la comunidad.	Actualizar el Plan de Uso de Terrenos mediante colaboración y alianzas con las partes interesadas clave.	Plan de Uso de Terrenos actualizado distribuido a las partes interesadas clave.	Líderes: DRNA, Estuario Socios implementadores: municipios, academia y comunidad científica	Pendiente	3-5 años	TBD	USEPA, DRNA

Requisitos regulatorios y de política pública

Es posible que se requieran modificaciones a las regulaciones y códigos locales de desarrollo si las categorizaciones de uso de suelos cambian con la actualización del Plan de Uso de Terrenos.

***NUEVO* MI-19 Evaluar tecnologías y enfoques para el uso beneficioso y la disposición de material dragado en el EBSJ.**

Actividades

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Identificar las ubicaciones de sedimentos con altas concentraciones de nutrientes o contaminación en el sistema del EBSJ y determinar las técnicas y tecnologías para cada ubicación prioritaria.	Mejorar la aplicación de técnicas de dragado, encapsulamiento y uso beneficioso.	Estudio de viabilidad de ubicaciones prioritarias completado.	Líderes: USACE, DRNA, Estuario Socios implementadores: municipios, academia y comunidad científica	En curso	3-5 años	TBD	USEPA, DRNA, USACE, Water Resources Development Act (WRDA)
2. Implementar un proyecto utilizando las tecnologías y técnicas seleccionadas para atender las ubicaciones prioritarias de sedimentos.	Mejorar la condición de los sedimentos en el sistema del EBSJ.	Proyectos de remediación de sedimentos implementados en las ubicaciones prioritarias.	Líderes: USACE, DRNA Socios implementadores: municipios, academia y comunidad científica	Pendiente	Más de 5 años	TBD	USEPA, DRNA, WRDA

Requisitos regulatorios y de política pública

Es posible que se requiera la autorización de USACE y otros permisos para instalar dispositivos de monitoreo y realizar actividades de monitoreo. Los datos recopilados impulsarán cambios de política orientados a estrategias más eficientes y sostenibles de dragado, encapsulamiento y uso beneficioso para mejorar la condición de los sedimentos en el EBSJ.

***NUEVO* MI-20 Modelaje de nutrientes y sedimentos en la cuenca del EBSJ.**

Actividades

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Revisar y analizar los datos existentes de modelación de nutrientes y sedimentos, y recopilar datos para subsanar la falta de información.	Recopilar datos de carga de nutrientes y sedimentos del área de estudio del EBSJ.	Falta de datos identificada y subsanada para mejorar los análisis.	Líder: DRNA Socios implementadores: municipios, academia, comunidad científica y Estuario	Pendiente	0-2 años	TBD	USEPA, DRNA, USACE
2. Actualizar los modelos con base en los datos recopilados y hacer públicos los resultados para la toma de decisiones.	Mejorar y actualizar los modelos de carga de nutrientes y sedimentos.	Correlación entre las cargas modeladas y observadas de nutrientes y sedimentos establecida, y resultados publicados.	Líderes: DRNA, Estuario Socios implementadores: municipios, academia y comunidad científica	Pendiente	3-5 años	TBD	USEPA, DRNA, USACE
3. Involucrar a las partes interesadas en estrategias de manejo basadas en los hallazgos actualizados del modelo.	Identificar las partes interesadas y dialogar para proponer nuevas estrategias.	Actividades realizadas con la participación de las comunidades y partes interesadas.	Líder: DRNA Socios implementadores: municipios, academia, comunidad científica y Estuario	Pendiente	0-2 años	TBD	USEPA, DRNA, USACE

Requisitos regulatorios y de política pública

Es posible que se requieran enmiendas al Reglamento para el Control de la Erosión y Prevención de la Sedimentación del DRNA con base en los resultados de los esfuerzos de modelaje y los nuevos datos.

Referencias

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. En: Programa del Estuario de la Bahía de San Juan, ed. 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 Martín Peña: Restoring an Ecosystem and Building Resilient Communities in Puerto Rico.

Coto, D. Associated Press. 2023. Dredging of Puerto Rico's biggest port begins despite warnings it may harm environment. AP News.

Junta de Planificación. 2023. Reglamento para el Diseño, Criterios de Operación, y Mantenimiento de Sistemas de Alcantarillados Pluviales en Puerto Rico (Reglamento de Planificación Núm. 40).

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.

Estuario ATLAS. s. f. Plan de Uso de Terrenos en la Región del Estuario de la Bahía de San Juan.
<https://estuario.org/uso-de-terrenos>

Florida 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. 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 y oportunidades de investigación. EPA/600/R-23/308.

Martinuzzi, S., Gould, W. A. y Ramos Gonzales, O. M. 2007. Land Development, land use, and urban sprawl in Puerto Rico integrating remote sensing and population census data.

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 y C. Wigand. 2020. Unexpected nitrogen sources in a tropical urban estuary. *Journal Geophysical Research, Biogeosciences* 125, e2019JGR005502.

Gobierno de Puerto Rico. 2015. Plan de Uso de Terrenos de Puerto Rico.

Ramírez, A., R. De Jesús Crespo, D. M. Martinó Cardona, N. Martínez Rivera y S. Burgos Caraballo. 2009. Urban streams in Puerto Rico: what can we learn from the tropics? *Journal of the North American Benthological Society* 28:1070–1079.

Ramírez, A., A. Engman, K. G. Rosas, O. Perez Reyes y D. M. Martinó Cardona. 2012. Urban impacts on tropical island streams: some key aspects influencing ecosystem response. *Urban Ecosystems* 15:315–325.

Rodríguez González, C. A., A. M. Rodríguez-Pérez, J. J. Caparrós Mancera, J. A. Hernández Torres, N. Gutiérrez Carmona y M. I. Bahamonde García. 2022. *J. Hyd. and Hydromechanics*. 70(3), pp. 341–356.

Torres Barreto, B. 2019. Infraestructura verde, un compromiso con la resiliencia. *El Nuevo Día*, 15 de septiembre de 2019.

USACE. 2016. Final Feasibility Report: Caño Martín Peña Ecosystem Restoration Project. February 2016.

USDA. 2017. Soil Erosion and Sediment Control. Natural Resources Conservation Service.

Infraestructura de drenaje e intercambio de agua

Trasfondo

El sistema del EBSJ ha sufrido modificaciones antropogénicas significativas, incluyendo dragado, relleno y sedimentación. Hasta hace poco, estos cambios respondían exclusivamente a beneficios económicos y a la calidad de vida humana. Muchas de estas modificaciones del paisaje han tenido impactos ecológicos importantes. Aproximadamente el 85 % del paisaje en la cuenca del EBSJ ha sido alterado por el ser humano, incluso desde hace miles de años (Seguinot-Barbosa, 1983). Para comprender el estado actual de la infraestructura de drenaje e intercambio de agua, y entender mejor los cambios necesarios dadas las condiciones ambientales y económicas actuales del área 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. Los cambios en la tierra bajo el agua o cerca de ella pueden producir alteraciones significativas en la hidrología y desestabilizar el delicado equilibrio de un estuario. Los primeros cambios en el EBSJ fueron realizados por poblaciones indígenas que deforestaron áreas costeras para uso agrícola y asentamientos, lo que provocó una erosión considerable; sin embargo, 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 EBSJ ha consistido en dragar los cuerpos de agua y los humedales para extraer material del subsuelo, modificar y controlar las orillas del cuerpo de agua, y rellenar y urbanizar la línea de costa alterada. Este enfoque de manejo ha creado fosas de dragado profundas, nuevos ambientes, y ha limitado la capacidad del sistema para amortiguar los flujos de agua, así como los contaminantes y recursos que transporta. Los flujos limitados en los canales al este y oeste de la laguna San José han aislado la laguna, que antes estaba influenciada por las mareas y ahora ya no fluye libremente con los cambios de marea, sino que está dominada por eventos de tormenta ocasionales capaces de invertir los flujos mareales. Este sistema alterado ha generado un aumento de eventos de inundación, ha limitado la renovación natural, ha contribuido al desequilibrio de nutrientes (eutrofización) y ha ocasionado cambios en la flora y fauna más allá del propio estuario.

La Bahía de San Juan tiene una desembocadura hacia el océano Atlántico y una segunda entrada en el extremo noroeste de la Laguna del Condado, lo que resulta en una restricción limitada del flujo (Bunch et al., 2000). La gran extensión y el dragado navegacional en el EBSJ han hecho de esta área el centro del comercio marítimo en Puerto Rico desde el siglo XVI. El dragado navegacional de la Bahía de San Juan se extiende también hacia el este, en el Caño Martín Peña.

El Caño Martín Peña conecta la Bahía de San Juan con la laguna San José. Este sistema fue en el pasado un canal estuarino amplio y sinuoso, con humedales que se extendían bastante al norte y al sur del canal. En el extremo oriental del Caño Martín Peña, el flujo sinuoso natural del canal aún permanece, pero la llanura de inundación de casi media milla de ancho y los humedales asociados se han reducido a una estrecha franja de amortiguamiento (donde todavía existe) entre los antiguos manglares rellenados y urbanizados y el canal. Muchas de las áreas se rellenaron con desperdicios, lo que crea desafíos adicionales para su restauración. El canal está obstruido por basura y escombros, lo que limita el intercambio mareal entre la Bahía de San Juan y la laguna San José. Las áreas de baja elevación se inundan con frecuencia como resultado de un sistema de alcantarillado pluvial envejecido que incluye flujos combinados de alcantarillado sanitario, descargas de la quebrada Juan Méndez y marejadas ciclónicas que ingresan por el canal Suárez y

la laguna San José. Estas inundaciones frecuentes de aguas contaminadas tienen impactos directos sobre la salud humana en las áreas bajas (ENLACE y USACE, 2016).

Hacia el oeste, el flujo sinuoso del canal natural ha sido reemplazado por un canal rectilíneo artificial. Aunque esta zona también ha sido afectada por el relleno de manglares y el desarrollo urbano, los manglares se han reestablecido a ambos lados del canal. En 2003, el área fue designada como Reserva Natural para protegerla de un mayor desarrollo. Hacia el este, el flujo natural del canal puede mantenerse, pero el desarrollo y la contaminación por desperdicios, aguas pluviales y desechos sanitarios han causado daños extensos al sistema. Debido al deterioro del Caño Martín Peña, el Proyecto de Restauración del Ecosistema del Caño Martín Peña está en desarrollo y se describe con más detalle en esta sección.

La laguna San José también ha sufrido por costas endurecidas y el avance del desarrollo urbano; pero lo más significativo para su hidrología ha sido el dragado desde una profundidad promedio de aproximadamente seis pies hasta depresiones de hasta 32 pies en la parte este. El volumen de la laguna San José aumentó en más de un 30 %, lo que también incrementó el tiempo necesario para el intercambio del volumen en este cuerpo de agua ya aislado y restringido. Las depresiones profundas formadas por el dragado provocan que aguas saladas más densas provenientes del océano circulen a mayor profundidad por debajo del agua dulce que entra por el Caño Martín Peña, eliminando la mezcla de aguas dulces y saladas que define a un estuario y que da lugar al equilibrio único entre los ambientes marino y dulceacuícola (ENLACE y USACE, 2016).

La laguna San José se divide en dos secciones llamadas laguna Los Corozos, al noroeste, y laguna San José, al sureste. No existe una conexión directa entre esta laguna y el océano. Las aguas oceánicas tienen acceso a la laguna San José mediante el Caño Martín Peña, que la conecta con la Bahía de San Juan, y mediante el canal Suárez, que la conecta con la laguna La Torrecilla. El canal Suárez es una conexión artificial desde la laguna San José hacia la laguna La Torrecilla, creada mediante dragado en las décadas de 1920 y 1930. El canal Suárez se estrecha en su tramo medio, donde el puente del expreso Román Baldorioty de Castro cruza el canal. La laguna La Torrecilla conecta con el océano a través del estrecho canal de la desembocadura de Boca de Cangrejos. Las aguas pluviales provienen de quebradas que drenan las áreas urbanas circundantes, incluyendo la Juan Méndez y la San Antón. También, canales pavimentados y sin pavimentar drenan áreas urbanas, incluido el Aeropuerto Internacional Luis Muñoz Marín. La laguna San José recibe además desbordamientos de alcantarillado combinado y aguas pluviales provenientes de estaciones de bombeo (ENLACE y USACE, 2016).

Con el desarrollo dentro y alrededor del EBSJ, el equilibrio natural del sistema se ha visto severamente alterado. Los humedales de manglar y las llanuras de inundación están canalizados y urbanizados, sin espacio para que se acumulen las aguas de inundación, lo que incrementa la descarga de nutrientes y sedimentos. Las quebradas de agua dulce limpia que entraban al estuario están ahora contaminadas con basura, desechos sanitarios y sedimentos. Los canales abiertos y poco profundos que conectaban las aguas del EBSJ han sido reemplazados por flujos canalizados de distintas profundidades, lo que limita el intercambio mareal e impone una separación vertical entre aguas dulces y saladas.

A partir de la comprensión de los retos hidrológicos que enfrenta el EBSJ, es crucial examinar los esfuerzos de restauración en curso y los planificados para atender estos problemas. Se han iniciado o propuesto varios proyectos para restaurar los flujos naturales, mejorar la calidad del agua y fortalecer la salud ecológica y comunitaria en todo el sistema estuarino.

El Proyecto de Restauración del Ecosistema del Caño Martín Peña (CMP-ERP) es el primer gran proyecto de restauración diseñado para producir una mejora a gran escala en las condiciones ambientales del EBSJ. Busca restaurar la conexión hidráulica entre las partes este y oeste del EBSJ mediante el dragado y canalización de aproximadamente 2.2 millas del Caño Martín Peña. El CMP-ERP mejorará los niveles de oxígeno disuelto, aumentará la biodiversidad al restaurar el hábitat de peces y las condiciones bentónicas, y reforzará el valor funcional del hábitat de manglar dentro del EBSJ. El CMP-ERP está autorizado por la sección 5127 de la WRDA 2007, según enmendada. La agencia federal principal es el USACE, y los copatrocinadores no federales son ENLACE y el DRNA. En mayo de 2016, el Subsecretario del Ejército para Obras Civiles aprobó el Estudio de Viabilidad y la Declaración de Impacto Ambiental, elaborados por ENLACE y USACE, determinando que el CMP-ERP era técnicamente viable, rentable, ambientalmente justificado, consistente con los estatutos ambientales y de interés público. En enero de 2022, tras años de defensa comunitaria organizada, el gobierno federal asignó \$163.8 millones para iniciar la fase de construcción a través de la Ley Bipartita de Infraestructura de 2021. Luego de la asignación de fondos federales, en julio de 2022, ENLACE, USACE y DRNA establecieron el Acuerdo de Asociación de Proyectos, lo que dio comienzo a la fase de construcción. El progreso de este proyecto ha sido liderado por ENLACE, el Grupo de las Ocho Comunidades Aledañas al Caño Martín Peña, Inc., y el Fideicomiso de la Tierra del Caño Martín Peña.

Los contratos del USACE para la restauración de la parte este del Caño Martín Peña comenzaron en 2023 y se espera que concluyan en 2031. El USACE emitió el Contrato 1 del proyecto en junio de 2023, y la remoción de vegetación y de 15,000 toneladas de residuos sólidos de aproximadamente 36 acres se completó en octubre de 2023. El Contrato 2 se adjudicó en septiembre de 2024 e incluyó la excavación de 25,000 yardas cúbicas de material del lado oeste del canal. El proyecto incluye la construcción de un canal de 115 pies de ancho en los puentes del lado oeste, la instalación de escolleras en el fondo y en los taludes laterales del canal, y la instalación de una pared de tablestacas en la parte este. Se estima que este contrato concluirá en octubre de 2026. El Contrato 3 se adjudicará en tres fases, con adjudicaciones previstas para septiembre de 2025 y enero de 2028. El alcance de este contrato incluirá 1.8 millas de dragado del canal, dos millas de dragado del canal de acceso, estabilización de taludes, protección contra la erosión en el puente Barbosa, restauración de 35 acres de manglar/humedal a lo largo de todo el canal, y la construcción de instalaciones recreativas. Se proponen fosas de disposición en las antiguas depresiones de dragado en la laguna San José (USACE, 2024).

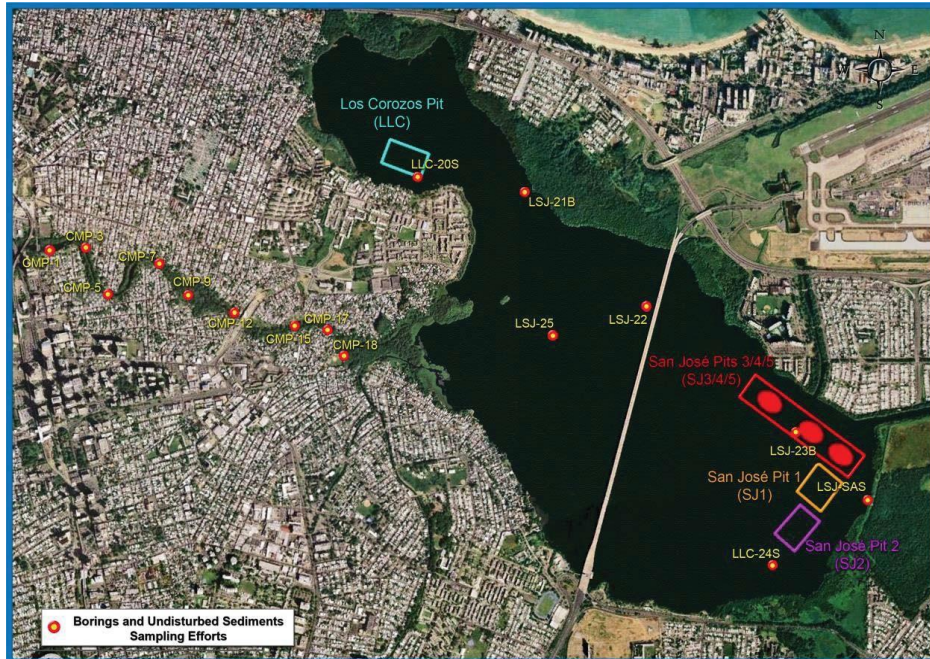


Figura 2. Pozos artificiales en la laguna San José (ENLACE y USACE, 2016)

Los proyectos más recientes de dragado y el proyecto de restauración ecológica del Caño Martín Peña han aportado numerosos conjuntos de datos batimétricos; sin embargo, es necesario actualizar y compilar un conjunto integral de batimetría de los cuerpos de agua del EBSJ. Estos datos informarán los estudios hidrológicos y de balance de masas requeridos 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 del riesgo por tormentas costeras para el área metropolitana de San Juan y las áreas de la parte posterior de la bahía. La parte posterior de la bahía se refiere a las áreas estuarinas interiores y bajas propensas a inundaciones, ubicadas detrás de la línea costera principal de la Bahía de San Juan, que son particularmente vulnerables a marejadas ciclónicas e inundaciones. Con un enfoque en los riesgos costeros por marejadas, olas, mareas y cambios en el nivel del mar, el plan recomienda varias características estructurales y basadas en la naturaleza. 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, muros de contención y defensas contra inundaciones (6.5 millas), una línea costera elevada viva (0.7 millas), una estructura de descarga en el caño La Malaria, y características hidrológicas interiores asociadas (bombas y alcantarillas) para permitir la continuidad del drenaje por escorrentía pluvial (2021). Este proyecto integral para la parte posterior de la bahía busca reducir las inundaciones costeras y mejorar la resiliencia de las comunidades vulnerables en las áreas interiores propensas a inundaciones de la región metropolitana de San Juan, mediante la combinación de la infraestructura diseñada con la restauración del hábitat natural.

Objetivo

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

Acciones

***NUEVO* MI-21 Realizar una evaluación hidrológica integral del sistema estuarino para priorizar los esfuerzos de restauración del intercambio de agua.**

Actividades

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Compilar estudios batimétricos recientes y de la dinámica de flujo para identificar vacíos y necesidades de datos.	Lograr un mapa batimétrico de todas las áreas del EBSJ.	Mapa de levantamiento batimétrico integral del EBSJ completado.	Líder: USACE Socios implementadores: Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA), Proyecto ENLACE y DRNA	En curso	2 años	TBD	WRDA, NOAA, USACE
2. Identificar restricciones en los flujos de marea y de corriente superficial; cuantificar la dinámica del tiempo de residencia del agua, incluyendo los efectos del aumento del nivel del mar y de eventos extremos de lluvia; y modelar la dinámica de circulación.	Completar modelos para identificar restricciones de flujo, tiempos de residencia y patrones de circulación.	Restricciones, tiempos de residencia y patrones de circulación identificados.	Líder: USACE Socios implementadores: USGS, NOAA, Proyecto ENLACE y DRNA	Pendiente	Más de 5 años	TBD	WRDA, USACE, NOAA
3. Publicar un informe integral de las condiciones hidrológicas que incluya retos y oportunidades.	Compilar datos batimétricos, modelos y un resumen de los vacíos de información, las restricciones de flujo, los tiempos de residencia, patrones de circulación, retos y oportunidades.	Informe publicado.	Líder: Estuario Socios implementadores: USGS, NOAA, Proyecto ENLACE y DRNA	Pendiente	Más de 5 años	TBD	WRDA, USACE, NOAA

Requisitos regulatorios y de política pública

Ninguno.

MI-22 Mejorar el flujo en el Caño Martín Peña y reubicar a las familias que viven en las proximidades del Caño Martín Peña.

Actividades

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Protección contra socavación de los puentes al oeste del Caño Martín Peña, el Tren Urbano y la avenida Luis Muñoz Rivera (Contrato 2 del proyecto de restauración del Caño Martín Peña del USACE).	Proteger el puente contra la socavación mediante el dragado del lado oeste del canal del Caño Martín Peña y la instalación de tablestacas y escollera para estabilizar los taludes.	25,000 yardas cúbicas de material excavadas en el lado oeste del caño, canal de 115 pies de ancho por 6.5 pies de profundidad construido en la zona de los puentes del lado oeste, escollera instalada en el fondo y en los taludes laterales del canal, muros de tablestacas de acero instalados en el extremo este.	Líderes: USACE, Proyecto ENLACE Socio implementador: DRNA	En curso	0-2 años	TBD	WRDA
2. Excavación y estabilización del canal (Contrato 3 del proyecto de restauración del Caño Martín Peña del USACE).	Eliminar restricciones al flujo del Caño Martín Peña, estabilizar los márgenes, restaurar manglares y humedales, y proveer instalaciones recreativas.	1.8 millas del canal y 2 millas del canal de acceso desde el área de movilización hasta el lado este del Caño Martín Peña dragados, talud estabilizado incluyendo tablestacas, protección contra socavación añadida en el puente Barbosa, 35 acres de manglar/humedal restaurados a lo largo de todo el canal, y elementos recreativos instalados.	Líderes: USACE, Proyecto ENLACE Socio implementador: DRNA	En curso	Más de 5 años	TBD	WRDA
3. Establecer un plan y calendario para dragado de mantenimiento.	Mantener a través del tiempo el mejoramiento de los flujos en el Caño Martín Peña.	Mantenimiento continuo, según sea necesario, para preservar los flujos en el Caño Martín Peña.	Líderes: USACE, Proyecto ENLACE Socio implementador: DRNA	Pendiente	Más de 5 años	TBD	WRDA
4. Realizar una evaluación e iniciativa de mapeo de hogares para identificar necesidades y prioridades de reubicación.	Desarrollar un mapa que identifique los hogares que requieren reubicación con clasificaciones priorizadas.	Lista con prioridades de reubicación desarrollada.	Líder: Proyecto ENLACE Socios implementadores: DRNA, municipios y grupos comunitarios	Pendiente	0-2 años	TBD	USEPA, DRNA, municipios, FEMA

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
5. Desarrollar un plan de participación comunitaria y comunicación para informar a los residentes sobre opciones, cronogramas y servicios de apoyo disponibles para la reubicación. Dar seguimiento al progreso de la reubicación y atender cualquier reto o preocupación.	Completar un plan de participación comunitaria y comunicación con estrategias y materiales de divulgación.	Plan coordinado con residentes de las comunidades.	Líder: Proyecto ENLACE Socios implementadores: DRNA, municipios, grupos comunitarios y Estuario	Pendiente	3-5 años	TBD	USEPA, DRNA, municipios

Requisitos regulatorios y de política pública

El Congreso autorizó proyectos en 2007 mediante la sección 5127 de la WRDA. La aprobación del estudio de viabilidad del proyecto en 2018 ha permitido que el USACE y Proyecto ENLACE trabajen en la fase previa a la construcción, ingeniería, diseño y fases tempranas de construcción. El proyecto necesitará apoyo continuo del Congreso de los Estados Unidos para asegurar el financiamiento de las fases finales. Es posible que se requiera política pública para proveer asistencia de reubicación a las personas que deban mudarse.

MI-23 Rellenar las fosas artificiales en el canal Suárez y en las lagunas Los Corozos, San José y La Torrecilla.

Actividades

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Rellenar las fosas de dragado en el canal Suárez.	Restablecer o aproximarse a una profundidad histórica más consistente para mejorar la regeneración y la mezcla de aguas marinas y dulces.	Profundidad máxima del canal de -14 pies alcanzada.	Líder: USACE Socio implementador : DRNA	Retrasado	Más de 5 años	TBD	WRDA

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
2. Rellenar las fosas de dragado en la laguna Los Corozos.	Restablecer o aproximarse a una profundidad natural histórica más consistente para mejorar la regeneración y la mezcla de aguas marinas y dulces.	Profundidad máxima de la laguna de -6 pies alcanzada.	Líder: USACE Socio implementador : DRNA	Retrasado	Más de 5 años	TBD	WRDA
3. Rellenar las fosas de dragado en la Laguna San José.	Restablecer o aproximarse a una profundidad natural histórica más consistente para mejorar la regeneración y la mezcla de aguas marinas y dulces.	Profundidad máxima de -16 pies alcanzada.	Líderes: USACE, Proyecto ENLACE Socio implementador : DRNA	Pendiente	Más de 5 años	TBD	WRDA
4. Rellenar las fosas de dragado en la Laguna La Torrecilla.	Restablecer o aproximarse a una profundidad natural histórica más consistente para mejorar la regeneración y la mezcla de aguas marinas y dulces.	Profundidad máxima de 14 pies fuera de los canales de navegación alcanzada.	Líder: USACE Socio implementador : DRNA	Retrasado	Más de 5 años	TBD	WRDA

Requisitos regulatorios y de política pública

El Congreso autorizó el proyecto en 2007 mediante la sección 5127 de la WRDA. La aprobación del estudio de viabilidad del proyecto en 2018 ha permitido que el USACE y la Corporación del Proyecto ENLACE del Caño Martín Peña trabajen en la fase previa a la construcción, ingeniería, diseño y las etapas iniciales de construcción. El proyecto necesitará apoyo continuo del Congreso de los Estados Unidos para asegurar el financiamiento de las fases finales. Se requerirán fondos adicionales para evaluar, diseñar y completar el relleno de las fosas de dragado en la construcción del canal Suárez y las lagunas Los Corozos y La Torrecilla.

MI-24 Mejorar el flujo de agua entre la ensenada de la península La Esperanza y la Bahía de San Juan.

Actividades

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos Estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Continuar el dragado para remover la sedimentación y mejorar la regeneración en la ensenada.	Mejorar el lavado y el intercambio mareal entre la ensenada de la península La Esperanza y la Bahía de San Juan.	Número, ancho o profundidad de las aperturas aumentados.	Líder: USACE Socio implementador : DRNA	Detenido	Más de 5 años	TBD	WRDA, USACE
2. Realizar monitoreo para evaluar la efectividad del proyecto y el hábitat cercano.	Recopilar información sobre los beneficios del proyecto y reducir impactos.	Monitoreo para evaluar las mejoras hidrológicas realizado.	Líder: USACE Socio implementador : DRNA	Pendiente	Más de 5 años	TBD	USACE, DRNA

Requisitos regulatorios y de política pública

El Congreso de los Estados Unidos había autorizado previamente el proyecto de dragado bajo las disposiciones de la WRDA de 1986. Las propuestas para el proyecto se solicitaron en 2015. La ingeniería, el diseño y los permisos deberán reevaluarse. El proyecto necesitará apoyo continuo del Congreso de los Estados Unidos para asegurar su financiamiento.

MI-25 Evaluar la viabilidad de abrir la carretera dique hacia Isla de Cabras para aumentar el flujo de agua.

Actividades

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	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, y seleccionar la ubicación y el tamaño de la nueva abertura.	Realizar una evaluación de necesidades para determinar dónde deben restablecerse los niveles de flujo y su prioridad.	Evaluación de necesidades e identificación de una ubicación para una nueva abertura completadas.	Líder: DRNA Socios implementadores: USACE y Estuario	Pendiente	2-5 años	TBD	DRNA, USEPA, USACE
2. Iniciar la construcción una vez se obtengan los permisos necesarios.	Desarrollar un plan de construcción y solicitar los permisos requeridos.	Permisos finalizados y construcción completada.	Líder: DRNA Socios implementadores: USACE y PRPA	Pendiente	Más de 5 años	TBD	DRNA, USEPA, Fondo Rotatorio Estatal, USACE

Requisitos regulatorios y de política pública

Se debe obtener un permiso bajo la sección 404 de la Ley de Agua Limpia, así como las certificaciones costeras y de calidad de agua correspondientes.

Referencias

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.

ENLACE y USACE. 2016. Final Feasibility Report: Caño Martín Peña Ecosystem Restoration Project. Febrero de 2016.

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. Febrero de 2015.

USACE. 2021. Draft Supplemental Environmental Assessment: San Juan Harbor, Puerto Rico Seagrass Mitigation, additional Sand Source. Octubre de 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. Agosto de 2021.

USACE. 2024. Caribbean District: Mission, Vision, and Contract Opportunities. Septiembre de 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. Septiembre de 1976.

Infraestructura Portuaria y de Embarcaciones

Trasfondo

El EBSJ es un componente vital del paisaje marítimo de Puerto Rico, que equilibra importantes beneficios económicos con retos ambientales y de seguridad complejos. Con una red creciente de puertos, muelles y marinas, el sistema del EBSJ sirve como un eje fundamental para el transporte marítimo, esencial tanto para la actividad comercial como para el turismo. Los puertos dentro del EBSJ suelen ser instalaciones de mayor tamaño diseñadas para acomodar embarcaciones comerciales, incluidos buques de carga y cruceros. Por ejemplo, la Bahía de San Juan se destaca como la decimoséptima instalación portuaria más grande del mundo y el segundo puerto de contenedores más activo de la costa este de los 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. El Puerto de San Juan maneja una parte significativa del tráfico de carga y cruceros de la isla.

En 2019, más de 30 millones de pasajeros de cruceros visitaron el Caribe, con Puerto Rico como destino clave. El crecimiento del turismo de cruceros, que antes de la pandemia de COVID-19 había sido de casi 10 % anual, 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 y atender las necesidades de las embarcaciones modernas, en 2024 se completó el dragado de la Bahía de San Juan para profundizar y ensanchar el canal de navegación. El proyecto incluyó la remoción de tres millones de yardas cúbicas de material para dar cabida a embarcaciones más grandes.

La seguridad pública y la protección ambiental desempeñan funciones esenciales en el desarrollo y operación de las instalaciones portuarias. La Ley 125-1942, según enmendada, estableció la Autoridad de los Puertos de Puerto Rico en 1942 y dispuso la creación de la Oficina de Seguridad General para la Autoridad de los Puertos de Puerto Rico en una enmienda a la ley presentada en 2024. La Oficina de Seguridad General también debe cumplir con la Ley de Seguridad del Transporte Marítimo. Esta ley respondió a los ataques terroristas del 11 de septiembre de 2001, y ordenó al Departamento federal de Transporte desarrollar medidas de seguridad para proteger los puertos y embarcaciones nacionales. La ley se enfocó particularmente en amenazas de seguridad, buques de carga y carga peligrosa, pero también abordó la seguridad laboral y las preocupaciones ambientales. El DRNA, a través de la Oficina del Comisionado de Navegación, busca reducir los efectos ambientales de las embarcaciones recreativas. Las cuatro áreas de esta oficina son el registro de embarcaciones, la educación marítima, la seguridad marítima y las leyes y reglamentos.

Bajo la Ley de la Autoridad de los Puertos de Puerto Rico, la Oficina de Seguridad General está obligada a tomar todas las acciones necesarias para la administración, organización interna y mantenimiento de sus activos. De manera crucial, la Autoridad debe preparar y revisar periódicamente el Plan de Seguridad, Protección y Vigilancia, que se implementa en coordinación con agencias de seguridad locales y federales. Este plan sirve como base para salvaguardar las operaciones portuarias, proteger la seguridad pública y prevenir incidentes ambientales que pudieran comprometer la calidad del agua en el EBSJ (Ley Núm. 125-1942). Sin embargo, a pesar de este claro mandato legal, no existe evidencia pública ni documentación disponible que confirme la existencia o la implementación de dicho plan por parte de la Autoridad de los Puertos de Puerto Rico. En 2024, la Guardia Costera de los Estados Unidos 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, con enfoque en el complejo entorno marítimo del estuario. El proceso PAWSA involucró a expertos locales y a partes interesadas en una evaluación estructurada de riesgos para identificar peligros para la seguridad en las vías navegables que afectan tanto la salud ambiental como la pública (U.S. Coast Guard, 2024). El taller PAWSA y su informe representan un paso importante para atender las vulnerabilidades de seguridad y ambientales de la infraestructura portuaria del EBSJ. Este avance es fundamental para asegurar que las medidas de seguridad y vigilancia protejan efectivamente la calidad del agua del estuario, en cumplimiento con los objetivos de la Ley de Agua Limpia.

De conformidad con 33 CFR 151.10, cuando una embarcación se encuentra a menos de 12 millas náuticas de la tierra más cercana, queda prohibida la descarga al mar de aceite o mezclas oleosas desde un buque que no sea un petrolero, o desde los espacios de máquinas de un petrolero, con algunas excepciones. Se pueden utilizar separadores de agua y aceite capaces de limitar las descargas de aceite a menos de 15 ppm. Las descargas de desechos sanitarios sin tratar y de sistemas de saneamiento marino de las embarcaciones contribuyen también a la carga de nutrientes en el EBSJ. Las mejoras a las instalaciones portuarias para la recolección de aguas de sentina y el bombeo de desechos sanitarios podrían reducir significativamente las descargas provenientes de embarcaciones en el EBSJ. Por otro lado, los eventos meteorológicos extremos representan una amenaza creciente para la infraestructura marítima del EBSJ. Eventos extremos, como huracanes, han causado daños extensos a la infraestructura, interrumpiendo 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 comprometida, lo que pone en riesgo la estabilidad económica, los esfuerzos de recuperación y las oportunidades turísticas (United Nations Trade and Development, 2017).

La Ley de Descargas Incidentales de Embarcaciones (VIDA, por sus siglas en inglés), promulgada en 2018, establece un marco nacional uniforme para regular las descargas incidentales a la operación normal de las embarcaciones comerciales bajo la sección 312(p) de la Ley de Agua Limpia. VIDA tiene como objetivo prevenir o reducir las descargas de contaminantes de embarcaciones en las aguas de los Estados Unidos mediante la consolidación y simplificación del conjunto previamente fragmentado de regulaciones federales, estatales y locales. Bajo VIDA, la USEPA es responsable de desarrollar normas nacionales de desempeño para descargas incidentales, mientras que la Guardia Costera desarrolla los reglamentos de cumplimiento correspondientes. La Ley cubre varios tipos de descargas de embarcaciones, incluyendo aguas de sentina, y establece procesos específicos para que los estados presenten peticiones para atender preocupaciones locales (USEPA, 2025).

Las descargas de aguas de sentina provenientes de embarcaciones representan un desafío ambiental significativo en el sistema del EBSJ. El agua de sentina suele contener aceite, grasa, sustancias químicas y otros contaminantes que, si se descargan sin tratamiento, tienen la capacidad de degradar la calidad del agua y dañar los ecosistemas acuáticos. Reglamentos como los establecidos en VIDA y 33 CFR 151.10 buscan limitar el contenido de aceite en las descargas de aguas de sentina y exigir el uso de separadores de agua y aceite para reducir la contaminación. Sin embargo, el cumplimiento y las limitaciones de infraestructura, como instalaciones inadecuadas para la recolección de aguas de sentina en los puertos, continúan siendo problemas que contribuyen a la carga de contaminantes en el EBSJ. Mejorar las instalaciones portuarias para la recolección de aguas de sentina, fortalecer el monitoreo y la fiscalización, y aumentar la conciencia entre los operadores de embarcaciones son pasos críticos para reducir los efectos ambientales de las descargas de embarcaciones en el estuario.

Además de las aguas de sentina, las actividades de mantenimiento en el agua, como la limpieza y pintura de cascos, y las operaciones de abastecimiento de combustible contribuyen al deterioro de la calidad del agua mediante la liberación de contaminantes como agentes antiincrustantes, combustibles y aceites al estuario. Estas actividades tienen el potencial de ocasionar la descarga de sustancias peligrosas directamente al agua si no se manejan adecuadamente. Asimismo, las descargas en reposo, o la liberación de aguas residuales mientras una embarcación está detenida, pueden contribuir a la carga de contaminantes en el EBSJ.

Además de las actividades marítimas, los aeropuertos dentro de la cuenca del EBSJ contribuyen a la contaminación de la calidad del agua mediante la escorrentía pluvial, las operaciones de descongelación, el manejo de combustible y otras actividades relacionadas con sus operaciones. Es importante asegurar que todos los aeropuertos en el EBSJ cumplan con la Ley de Agua Limpia a fin de proteger la calidad del agua del estuario y apoyar objetivos más amplios de conservación y restauración. Los aeropuertos son entornos operativos complejos donde es posible que contaminantes como hidrocarburos, metales pesados, sustancias químicas de descongelación y otros entren en la escorrentía pluvial y, eventualmente, lleguen a los cuerpos de agua cercanos si no se manejan adecuadamente. Estas descargas degradan los hábitats acuáticos, afectan la calidad del agua y amenazan la salud pública. Desarrollar e implementar un plan integral de cumplimiento adaptado a los desafíos particulares de los aeropuertos en la región del EBSJ facilitará una mejor coordinación entre las autoridades aeroportuarias, las agencias ambientales y las partes interesadas de la comunidad.

Existe un reconocimiento creciente de la necesidad de trabajar más estrechamente con las autoridades portuarias, marítimas y aeroportuarias como partes interesadas clave en la cuenca del estuario, con el fin de reducir las descargas de contaminantes y mejorar el cumplimiento con las regulaciones federales de calidad del agua.

Objetivo

- Reducir los derrames y descargas provenientes de los puertos, las marinas, las villas pesqueras y la infraestructura de embarcaciones.

Acciones

***NUEVO* MI-26 Desarrollar e implementar un plan de infraestructura para asegurar que todos los puertos marítimos apoyen los esfuerzos de restauración y conservación de agua.**

Actividades

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Evaluar la infraestructura portuaria para investigar y revisar la información o los planes existentes, y realizar un análisis de necesidades.	Realizar una inspección de toda la infraestructura pluvial, de alcantarillado sanitario, de protección costera y de muelles en los puertos, e identificar la infraestructura crítica que requiere mantenimiento o reemplazo.	Inspecciones y evaluaciones completadas, y desempeño o la vida útil de la infraestructura a mejorados.	Líder: Autoridad de los Puertos de Puerto Rico Socios implementadores: marinas, grupos y organizaciones de navegación	Pendiente	Más de 5 años	TBD	WRDA
2. Revisar y actualizar las BMP en el Plan de Prevención de la Contaminación por Aguas Pluviales (SWPPP).	Asegurar la inspección y mantenimiento de toda la infraestructura pluvial y que cumpla con los requisitos para garantizar una protección adecuada contra inundaciones y el tratamiento del agua.	Inspecciones y mantenimiento o completados conforme al calendario del SWPPP.	Líder: Autoridad de los Puertos de Puerto Rico Socios implementadores: DRNA y USEPA	Pendiente	0-2 años	TBD	Autoridad de los Puertos de Puerto Rico
3. Desarrollar el Plan de Seguridad, Protección y Vigilancia para garantizar el cumplimiento con la Ley de Aguas Limpias.	Plan completado.	Plan desarrollado.	Líder: Autoridad de los Puertos de Puerto Rico Socios implementadores: DRNA, Guardia Costera, USEPA	Pendiente	0-2 años	TBD	WRDA

Requisitos regulatorios y de política pública

Es necesario asegurar el cumplimiento con la Ley de Agua Limpia y con la guía establecida en el marco de la Ley Núm. 125-1942 al desarrollar el plan.

MI-27 Crear un consejo asesor portuario para monitorear los muelles y otras instalaciones acuáticas en el sistema del EBSJ y asegurar el cumplimiento regulatorio y de permisos.

Actividades

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Crear un consejo asesor portuario compuesto por partes interesadas para formular recomendaciones sobre medidas para controlar la proliferación de muelles y otras instalaciones acuáticas dentro del sistema del EBSJ.	Desarrollar y hacer cumplir sistemas de manejo de aguas pluviales que eviten la contaminación por escorrentía, mejorar la infraestructura para prevenir descargas ilegales, implementar programas de capacitación y desarrollar planes de preparación ante emergencias por derrames de aceite o diésel y evacuación de embarcaciones ante eventos extremos.	Consejo asesor creado para desarrollar las medidas y planes necesarios.	Líder: Estuario Socios implementadores: DRNA, USEPA, Servicio de Pesca y Vida Silvestre de Estados Unidos (USFWS), municipios, marinas, grupos y organizaciones de navegación	En marcha	0-2 años	TBD	DRNA, USFWS, USEPA
2. Recomendar medidas de cumplimiento para estructuras ilegales.	Reducir las estructuras ilegales que afectan el sistema del EBSJ.	Medidas de cumplimiento implementadas.	Líder: DRNA Socios implementadores: municipios, marinas, grupos y organizaciones de navegación	Pendiente	0-2 años	TBD	DRNA
3. Recomendar el desarrollo de muelles públicos y otras instalaciones en áreas que no afecten los recursos naturales.	Mejorar la ubicación de las instalaciones para servir a la comunidad sin afectar los recursos naturales.	Ubicaciones de instalaciones recomendadas.	Líder: DRNA Socios implementadores: USEPA, USFWS, municipios, marinas, grupos y organizaciones de navegación	Pendiente	0-2 años	TBD	DRNA

Requisitos regulatorios y de política pública

A determinar con base en los hallazgos del grupo de trabajo.

***NUEVO* MI-28 Desarrollar directrices para la construcción y modernización de marinas que incorporen características de diseño sostenible.**

Actividades

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Realizar una revisión exhaustiva de los estándares de diseño de marinas existentes y de las mejores prácticas en desarrollo sostenible.	Compilar una base de datos de prácticas para un desarrollo de marinas más sostenible.	Base de datos compilada.	Líder: DRNA Socios implementadores: USFWS, marinas, organizaciones de navegación y academia	Pendiente	0-2 años	TBD	DRNA, USFWS, municipios, marinas
2. Implementar requisitos de diseño sostenible en proyectos de construcción y rehabilitación de marinas.	Mejorar la sostenibilidad de la infraestructura y la protección de áreas naturales.	Reglamento adoptado.	Líder: DRNA Socios implementadores: USFWS, marinas y organizaciones de navegación	Pendiente	3-5 años	TBD	DRNA, USFWS, municipios, marinas
3. Construir e instalar hábitats de arrecifes artificiales bajo marinas e instalaciones portuarias.	Aumentar el hábitat de arrecifes para incrementar los recursos bentónicos y apoyar la sostenibilidad de los recursos pesqueros.	Arrecifes creados.	Líder: DRNA Socios implementadores: USFWS, marinas y organizaciones de navegación	Pendiente	3-5 años	TBD	DRNA, USFWS, municipios, marinas

Requisitos regulatorios y de política pública

Es posible que se requieran modificaciones a los códigos y ordenanzas locales para permitir la implementación de las directrices recomendadas.

Referencias

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

Bauzá-Ortega, J. 2016. Evaluation of the Creation of an Aquatic Nursery to Promote Fish and Shellfish Population in the San Juan Bay Harbor.

Estuario. Julio de 2000. Plan Integral de Manejo y Conservación. Capítulo Tres: Plan de Acción para la Calidad de Agua y Sedimentos.

Runde, D. y Sandin, L. 2021. Reimagining the U.S. Strategy in the Caribbean.

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).

USACE. Draft Supplemental Environmental Assessment: San Juan Harbor, Puerto Rico, Seagrass Mitigation, Additional Sand Source. Octubre de 2021.

U.S. Coast Guard. 2024. Ports and Waterways Safety Assessment Workshop Report.

USEPA. 2025. The Vessel Incidental Discharge Act (VIDA).

USEPA, National Pollutant Discharge Elimination System. Stormwater Discharges from Industrial Activities EPA's 2021 MSGP.

Infraestructura de transporte y movilidad

Trasfondo

En la cuenca del EBSJ hay más carreteras que ríos, y la infraestructura vial de la cuenca conduce agua hacia el EBSJ. La implementación de medidas de seguridad robustas que garanticen la coexistencia de ciclistas y conductores permite integrar modos de transporte alternativos y limpios en el sistema vial. Esto incluye el establecimiento continuo de señalización clara, carriles exclusivos para bicicletas y campañas integrales de concienciación pública. Al atender las preocupaciones de seguridad, la región puede mitigar los riesgos y promover un entorno más seguro para todos los usuarios de la red de transporte. Esto incluye infraestructura verde, como árboles para moderar el tráfico, así como sistemas ecológicos de drenaje urbano, jardines pluviales, jardineras de flujo continuo y superficies permeables para reducir los efectos de la escorrentía pluvial (DTOP, 2018).

Preparar un mapa integral del sistema vial dentro de la cuenca del EBSJ ayuda a manejar la calidad del agua al identificar lugares donde es necesario controlar o mitigar la contaminación por escorrentía. Asimismo, un mapa detallado de la red vial, incluidos los sistemas de drenaje y la topografía circundante, facilita visualizar dónde la escorrentía vial y los contaminantes asociados fluyen hacia los cuerpos de agua cercanos. Además, se puede utilizar el mapa para identificar qué tramos de carretera o elementos de infraestructura son fuentes principales de contaminación, como áreas con alto volumen de tráfico, sistemas de drenaje inadecuados u obras de construcción, con el potencial de afectar los ecosistemas acuáticos y las fuentes de agua potable.

Las comunidades dentro del sistema del EBSJ han expresado preocupación también por los trabajos de repavimentación que, inadvertidamente, bloquean las entradas del alcantarillado y alteran el manejo eficaz de las aguas pluviales. La pendiente y el nivelado adecuados durante la repavimentación de carreteras son fundamentales para asegurar que las aguas pluviales se dirijan de manera efectiva hacia los sistemas de drenaje, previniendo inundaciones localizadas, desbordamientos de alcantarillado y contaminación ambiental. Cuando los proyectos de repavimentación no respetan los estándares apropiados de nivelación, suelen provocar que el agua se acumule sobre la superficie vial o que se obstruyan las entradas del alcantarillado, agravando los problemas de calidad del agua en el estuario.

En 2023, el DTOP lideró la creación del Plan de Transportación Multimodal a Largo Plazo de Puerto Rico. Este plan identifica la estructura organizacional, esboza una visión para el transporte en Puerto Rico y evalúa el financiamiento de proyectos con un horizonte de planificación hasta el año 2050. El plan se implementó para ajustarse a los requisitos federales delineados en la Intermodal Surface Transportation Efficiency Act de 1991 y la Fixing America's Surface Transportation (FAST) Act. Este plan reconoce a San Juan como Área de Manejo de Transportación, para la cual se estableció un plan específico. Las metas y objetivos del Plan de San Juan se enfocaron en cuatro temas generales, conocidos como las cuatro E por sus términos en inglés (*Efficiency, Environment, Economy and Equity*): eficiencia, ambiente, efectividad y economía. Los objetivos ambientales son de particular interés para el Plan del Estuario:

B.1 Promover una infraestructura de transporte que preserve ecosistemas equilibrados, minimizando el impacto adverso sobre el medioambiente natural de la isla, dando prioridad a la rehabilitación y mejora de las infraestructuras existentes.

B.2 Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, el consumo de energía y la emisión de huella de carbono; promover el “crecimiento inteligente”, comunidades habitables y mejorar la calidad del aire mediante la implementación de estrategias de sostenibilidad y metodologías de gestión ambiental.

B.3 Apoyar la integración de los planes de uso de terrenos y de transportación para mantener la coherencia con los usos de terrenos existentes y planificados.

B.4 Mejorar las estrategias de modos alternos de transporte y la demanda de viajes mediante la implementación y mejora de accesos peatonales, ciclovías, plan de transporte público, puertos de recarga para vehículos eléctricos, entre otras alternativas ambientalmente sostenibles, que reduzcan la dependencia de los vehículos motorizados y potencien los modos alternativos de transporte.

B.5 Reducir la vulnerabilidad de la infraestructura de transportación mediante infraestructura resiliente que resista eventos meteorológicos extremos.

B.6 Mejorar la salud física y mental mediante la promoción y el aumento de modos de transportación no motorizados a través de intervenciones o nuevos proyectos con infraestructura adecuada (DTOP, 2023).

El Plan de Transportación Multimodal a Largo Plazo y la Guía de Diseño para Calles Completas de Puerto Rico, preparados por la Sociedad Puertorriqueña de Planificación, ofrecen una hoja de ruta para las calles modernas en la cuenca del EBSJ. Al aprovechar estos esfuerzos y mejorar el manejo de las aguas pluviales mediante el uso de las BMP adecuadas e infraestructura verde, el sistema vial puede proporcionar un manejo sostenible de la escorrentía para proteger el EBSJ.

Objetivo

- Reducir los sedimentos y contaminantes que llegan al sistema estuarino provenientes de la infraestructura de transporte y movilidad.
- Aumentar las opciones disponibles para medios de transporte alternativos, como caminar y usar bicicleta.

Acciones

***NUEVO* MI-29 Desarrollar un mapa integral del sistema de carreteras federales, estatales y locales.**

Actividades

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Compilar información sobre la infraestructura de aguas pluviales.	Recopilar información sobre la infraestructura de aguas pluviales para carreteras federales, estatales y locales, así como para instalaciones portuarias y aeroportuarias.	Información sobre la ubicación de la infraestructura de aguas pluviales recopilada.	Líder: Estuario Socios implementadores: Autoridad de los Puertos, DRNA y municipios	En curso	0-2 años	TBD	DRNA
2. Preparar una base de datos GIS y un mapa de la infraestructura de aguas pluviales en la cuenca del EBSJ.	Integrar la infraestructura federal, estatal y local en una sola base de datos.	Base de datos GIS y mapa creados y compartidos en el sitio web de Estuario.	Líder: Estuario Socios implementadores: Autoridad de los Puertos, DRNA y municipios	En curso	0-2 años	TBD	DRNA

Requisitos regulatorios y de política pública

El mapa integral proporcionará información para identificar cambios regulatorios y de política pública que podrían ser necesarios para mejorar el manejo de las contribuciones de contaminantes provenientes del sistema vial con el fin de mejorar la calidad del agua.

****NUEVO* MI-30 Asegurar que los trabajos de repavimentación mantengan pendientes y nivelaciones adecuadas para manejar eficazmente las aguas pluviales y evitar la obstrucción de las entradas del alcantarillado.***

Actividades

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Establecer criterios de permisos, BMP de construcción y criterios de inspección.	Documentar en los criterios de permisos e inspección las elevaciones existentes y propuestas, asegurar que existan las BMP de construcción apropiadas y evaluar los efectos directos sobre los alcantarillados pluviales.	Nuevos criterios de permisos e inspección implementados.	Líder: DRNA Socios implementadores: municipios	Pendiente	0-2 años	TBD	DRNA
2. Establecer un grupo de trabajo para la inspección de la repavimentación y aplicar las correcciones necesarias para asegurar una nivelación adecuada.	Crear un grupo de trabajo para inspecciones que asegure que las carreteras queden correctamente niveladas al repavimentarse, para mejorar la calidad del agua.	Grupo de trabajo creado y nivelación adecuada de las carreteras asegurada.	Líderes: Estuario, DRNA Socios implementadores: municipios	Pendiente	3-5 años	TBD	DRNA
3. Preparar un documento de orientación sobre enfoques de nivelación y BMP para proteger la calidad del agua.	Preparar un documento de orientación para proyectos de repavimentación.	Nivelación adecuada y tratamiento de las carreteras implementado.	Líder: DRNA Socios implementadores: municipios	Pendiente	0-2 años	TBD	DRNA

Requisitos regulatorios y de política pública

Los esfuerzos para mantener un drenaje adecuado en las entradas del alcantarillado deben seguir las regulaciones locales y federales.

****NUEVO* MI-31 Colaborar con los municipios y los planificadores para incluir infraestructura de transporte alternativo, como carriles para bicicletas, aceras y puntos de acceso al transporte público.***

Actividades

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Desarrollar directrices para incorporar infraestructura de transporte alternativo en los planes de desarrollo.	Mejorar la información sobre cómo añadir transporte alternativo para las comunidades del EBSJ.	Directrices desarrolladas.	Líder: DTOP Socios implementadores: Autoridad Metropolitana de Autobuses, Comisión para la Seguridad en el Tránsito y municipios	Pendiente	0-2 años	TBD	DTOP, Autoridad Metropolitana de Autobuses, Comisión para la Seguridad en el Tránsito, municipios
2. Promover la inclusión de infraestructura de transporte alternativo en los códigos de zonificación y reglamentos de desarrollo locales.	Eliminar barreras para incluir transporte alternativo en los proyectos de desarrollo.	Barreras eliminadas.	Líder: DTOP Socios implementadores: Autoridad Metropolitana de Autobuses, Comisión para la Seguridad en el Tránsito, municipios y grupos locales de defensa	Pendiente	0-2 años	TBD	DTOP, Autoridad Metropolitana de Autobuses, Comisión para la Seguridad en el Tránsito, municipios
3. Implementar proyectos de transporte alternativo en áreas clave de la cuenca del EBSJ.	Mejorar el acceso en toda la cuenca.	Proyectos de transporte alternativo completados.	Líder: DTOP Socios implementadores: Autoridad Metropolitana de Autobuses y municipios	Pendiente	3-5 años	TBD	DTOP, Autoridad Metropolitana de Autobuses, Comisión para la Seguridad en el Tránsito, municipios

Requisitos regulatorios y de política pública

Es posible que se requieran modificaciones a los códigos y reglamentos de construcción locales para ofrecer incentivos a los desarrolladores, a fin de que incluyan infraestructura de transporte alternativo. También es posible que se necesiten modificaciones para cumplir con el DTOP, la FAST Act y otros requisitos promulgados recientemente.

Referencias

Leyes de Puerto Rico 2023, TÍTULO NUEVE - Carreteras y Tránsito (§§ 1-8 — 5725) Capítulo 6 - Calles Completas (§§ 146 — 151) § 147 - Declaración de política pública.

DTOP. 2018. Plan Integral Ciclista y Peatonal para Puerto Rico.

DTOP. 2018. Plan y Guía de Diseño para Calles Completas de Puerto Rico.

DTOP. 2023. Plan de Transportación Multimodal a Largo Plazo al 2050.

DTOP. 2023. Plan de Transportación Multimodal a Largo Plazo para el Área Metropolitana de San Juan al 2050.

Monitoreo colaborativo de la calidad del agua y de los sedimentos del fondo, y divulgación de datos

Trasfondo

Crear una red integral 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 proyectos y programas de restauración y mejoramiento. Una base de datos sólida proporcionará información sobre condiciones históricas para comprender mejor las interacciones entre las fuentes de contaminantes de la cuenca y las respuestas en el 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 potenciales fuentes de contaminantes que afectan los ecosistemas acuáticos (Otero y Meléndez, 2011). El enfoque del programa de monitoreo en los contaminantes de los sedimentos es crítico porque los contaminantes presentes en los sedimentos del EBSJ reflejan aportes históricos y continuos de fuentes industriales, urbanas y municipales (Otero y Meléndez, 2011).

Estuario lidera los esfuerzos para recopilar datos en el sistema. Desde 2008, el Programa de Monitoreo de Calidad de Agua con Voluntarios de Estuario ha involucrado a ciudadanos locales en el monitoreo de la calidad del agua. Este proyecto recopila 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 turbidez. Los datos se recopilan mensualmente en 26 estaciones distribuidas en 13 cuerpos de agua que representan los diversos sistemas acuáticos dentro de la cuenca (Lugo y Bauzá Ortega, 2024). Hasta la fecha, Estuario ha capacitado a más de 400 ciudadanos científicos para realizar este muestreo (Estuario, 2025).

Asimismo, Estuario ha financiado un proyecto de monitoreo que toma muestras en 32 salidas de drenaje, incluyendo 19 subcuencas de la cuenca del EBSJ y 13 del río Grande de Loíza aguas abajo de la represa, a través de cerca de 200 estaciones diagnósticas. El proyecto se enfoca en el muestreo de nutrientes para identificar ubicaciones de descargas de aguas residuales, categorizadas como afectadas y críticas, lo que indica una descarga sanitaria importante en curso (Martínez Rodríguez, 2024). Además, el personal de Estuario recoge muestras de 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 en sus cuentas de redes sociales mediante un mapa GIS (véase el ejemplo en la Figura 3). Este esfuerzo comenzó en 2014 con la Reserva Natural de la Laguna del Condado y se amplió tras el huracán María hacia la costa norte del área de estudio de Estuario y hacia un muestreo semanal (Estuario, 2025).

Las actividades de monitoreo actuales ofrecen maneras para que los ciudadanos participen en la recopilación de datos y accedan a los resultados de manera oportuna mediante mapas GIS. Los datos recopilados se pueden utilizar también en modelos para evaluar cambios en la calidad del agua en el estuario y en los principales tributarios en respuesta a cambios en la cuenca. Ampliar los esfuerzos de recopilación de datos para monitorear otros parámetros y en ubicaciones adicionales proporcionará una base de datos más sólida para la elaboración de mapas y modelos, la toma de decisiones y la divulgación pública. El monitoreo de los sedimentos ha revelado concentraciones elevadas de metales pesados, incluyendo plomo, mercurio y cadmio, en múltiples ubicaciones, lo que representa posibles riesgos de toxicidad para los organismos bentónicos y riesgos por bioacumulación (Otero y Meléndez, 2011). Además,

los contaminantes orgánicos y los niveles de nutrientes en los sedimentos contribuyen a la degradación de la calidad del sedimento y exacerbaban los procesos de eutrofización en el estuario (Otero y Meléndez, 2011).



Figura 3. Ejemplo de resultados semanales de monitoreo bacteriológico

Estuario convocó a posibles socios e identificó la necesidad de esfuerzos colaborativos de monitoreo a nivel regional para desarrollar un programa de monitoreo de la calidad del agua a escala de cuenca, con el fin de establecer condiciones de referencia y documentar el impacto de los proyectos de infraestructura a gran escala previstos. A través de esta red regional, conocida como la Red Colaborativa de Monitoreo de la Calidad del Agua, Estuario colabora con socios para llevar a cabo los objetivos de monitoreo de la calidad del agua. Este monitoreo ayudará a conseguir financiamiento adicional para recopilar datos de calidad del agua de forma más frecuente y eficiente, asegurar el control de calidad y agilizar la interpretación y divulgación de resultados para la implementación de medidas correctivas. Además, los esfuerzos de monitoreo colaborativo brindarán mayor visibilidad y harán los datos más accesibles para que los distintos sectores puedan establecer tendencias y tomar decisiones basadas en la ciencia. La integración de datos sobre contaminantes en sedimentos con indicadores de calidad del agua y biológicos proporciona una comprensión integral de las condiciones estuarinas e informa las decisiones de manejo (Otero y Meléndez, 2011).

El programa de monitoreo se debe ampliar para recopilar información sobre contaminantes de preocupación emergente, que incluyen productos farmacéuticos, productos de cuidado personal y hormonas, detectados con una frecuencia cada vez mayor (Rodríguez-Sierra et al., 2025). La necesidad de un programa integral de monitoreo e investigación es imperativa para evaluar la presencia de estos contaminantes y sus riesgos potenciales para la vida acuática y la salud humana. Un programa de

monitoreo robusto debe establecer una red de estaciones a lo largo del EBSJ para recopilar datos sobre la presencia y concentración de contaminantes de preocupación emergente. Este enfoque sistemático ayudará a identificar puntos críticos y tendencias, proporcionando información crucial para un manejo eficaz. Además, la investigación debe enfocarse en comprender las fuentes y rutas por las cuales estos contaminantes ingresan al estuario. Investigar el papel de las plantas de tratamiento de aguas residuales, la escorrentía pluvial y las descargas ilícitas es vital para contar con información que permita abogar por tecnologías avanzadas de tratamiento que reduzcan eficazmente estos contaminantes.

Asimismo, las floraciones algales nocivas representan una preocupación creciente y se deben evaluar más a fondo. Las floraciones algales nocivas son el crecimiento rápido de algas o cianobacterias en el agua, capaces de afectar a las personas, los organismos o el ambiente (Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades [CDC], 2024). Un aumento de nutrientes en los cuerpos de agua puede alimentar a las algas, provocando su rápido crecimiento en forma de floración. Algunas floraciones producen toxinas. Además, las floraciones tienen el potencial de agotar el oxígeno en el agua cuando mueren, causando mortandad de peces y otros organismos silvestres. Por lo tanto, reducir la ocurrencia de floraciones algales nocivas es una medida importante para la salud del sistema del EBSJ. En 2013 se realizó un estudio para evaluar las vulnerabilidades del sistema del EBSJ ante condiciones cambiantes. Este estudio encontró que es probable que las floraciones algales nocivas sean más extensas en el sistema estuarino dentro de 15 a 30 años (Jacobs y Pérez, 2013). Reducir la ocurrencia de floraciones algales nocivas requiere desarrollar medidas de protección y un sistema de detección temprana. Para modelar y predecir con éxito las floraciones algales nocivas, se necesitan datos sobre variables climáticas y ambientales (por ejemplo, temperatura atmosférica, viento, radiación solar), hidrodinámica (como niveles de agua, salinidad, temperatura del agua, estratificación de la columna de agua), calidad del agua (por ejemplo, aportes de nutrientes, profundidad fótica, pH, oxígeno disuelto) y estructura de la comunidad de fitoplancton (composición de especies, competencia entre especies y efectos de pastoreo, entre otras). Se necesitará recopilar información adicional e identificar y desarrollar una herramienta predictiva apropiada para el sistema del EBSJ.

Estuario desarrollará un tablero de datos para apoyar la recopilación, evaluación y presentación de datos al público. Este tablero ofrecerá mayor visibilidad entre distintos sectores y permitirá la toma de decisiones basada en la ciencia.

Objetivo

- Medir la efectividad de las inversiones en infraestructura hídrica con base en datos medidos sobre la calidad del agua.
- Identificar y dar seguimiento a cambios y tendencias espaciales y temporales en la calidad del agua y los recursos vivos asociados a los cuerpos de agua.
- Fortalecer la comunicación de los avances en la restauración y conservación de la calidad del agua.

Acciones

MI-32 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.

Actividades

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Continuar apoyando el Programa de Monitoreo de Calidad del Agua con Voluntarios y buscar oportunidades para ampliar las ubicaciones y la frecuencia del monitoreo.	Aumentar el número de voluntarios y los datos de calidad del agua recopilados.	Aumento en el número de voluntarios y en los datos recopilados.	Líder: Estuario Socios implementadores: USEPA, DRNA y organizaciones comunitarias	En curso	0-2 años	TBD	USEPA, municipios
2. Desarrollar, mantener y actualizar el tablero de datos y continuar publicando los datos en el sitio web de Estuario.	Facilitar el acceso a los datos de calidad del agua para uso público.	Tablero de datos que aumenta la visibilidad de la información publicado.	Líder: Estuario	En curso	0-2 años	TBD	USEPA
3. Continuar publicando el Informe de la condición ambiental del EBSJ.	Facilitar el acceso a los datos de calidad del agua para uso público.	Datos fácilmente accesibles.	Líder: Estuario Socios implementadores: USEPA, DRNA y organizaciones comunitarias	En curso	0-2 años	TBD	USEPA, municipios
4. Continuar liderando la Red Colaborativa de Monitoreo de la Calidad del Agua.	Mantener la recopilación de datos de la Red Colaborativa de Monitoreo de la Calidad del Agua.	Red Colaborativa de Monitoreo de la Calidad del Agua liderada.	Líder: Estuario	En curso	0-2 años	TBD	USEPA

Requisitos regulatorios y de política pública

Ninguno.

***NUEVO* MI-33 Establecer un programa de monitoreo e investigación sobre la ocurrencia y el riesgo potencial de contaminantes de preocupación emergente en el sistema del EBSJ.**

Actividades

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Desarrollar un marco de monitoreo para facilitar la evaluación de las concentraciones, fuentes y tendencias temporales de contaminantes de preocupación emergente.	Recopilar datos integrales sobre las concentraciones de contaminantes de preocupación emergente e identificar tendencias.	Informe anual que resume los datos sobre contaminantes de preocupación emergente con recomendaciones de manejo desarrollado.	Líderes: DRNA, USEPA Socios implementadores: AAA, empresas privadas de servicios públicos, academia y Estuario	Pendiente	3-5 años	TBD	DRNA, USEPA
2. Analizar los datos para evaluar los riesgos ecológicos asociados a contaminantes de preocupación emergente y desarrollar políticas.	Desarrollar políticas y regulaciones informadas que aborden el manejo de contaminantes de preocupación emergente.	Evaluaciones de riesgo para especies clave en el EBSJ creadas.	Líder: DRNA Socios implementadores: USEPA, AAA, empresas privadas de servicios públicos y academia	Pendiente	3-5 años	TBD	DRNA, USEPA

Requisitos regulatorios y de política pública

Actualizar las políticas y reglamentaciones locales para reconocer los riesgos de los contaminantes de preocupación emergente en el sistema y apoyar la regulación de su entrada a la cuenca.

***NUEVO* MI-34 Desarrollar una plataforma predictiva para la detección temprana de floraciones de algas nocivas.**

Actividades

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Identificar vacíos en los datos de calidad del agua, hidrología y meteorología, así como oportunidades para subsanar esos vacíos y recopilar la información necesaria para predecir mejor las floraciones de algas nocivas.	Subsanar vacíos en el monitoreo para predecir mejor las floraciones de algas nocivas.	Vacíos de datos sobre floraciones de algas nocivas subsanados.	Líderes: USEPA, DRNA Socios implementadores: municipios, academia y organizaciones de investigación	Pendiente	0-2 años	TBD	USEPA, DRNA

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
2. Determinar una plataforma adecuada de modelación de floraciones de algas nocivas, incluyendo la evaluación de herramientas existentes, y desarrollar la herramienta para la coordinación y colaboración a fin de reducir estas floraciones y facilitar una respuesta rápida cuando ocurran.	Desarrollar herramienta para manejar mejor las condiciones de la cuenca y del estuario, reducir las floraciones de algas nocivas y ayudar en la respuesta cuando ocurran.	Reducción alcanzada en floraciones de algas nocivas mediante un mejor manejo.	Líderes: USEPA, DRNA Socios implementadores: municipios, academia, organizaciones de investigación, Estuario	Pendiente	3-5 años	TBD	USEPA, DRNA

Requisitos regulatorios y de política pública

Ninguno.

Referencias

CDC. 2024. Harmful Algal Blooms and Your Health.

Estuario. 2025. Calidad de agua.

Jacobs, K. R. y Pérez, A. I. 2013. Assessing the San Juan Bay Estuary Program's Vulnerabilities to Climate Change. Preparado para Climate Ready Estuaries, USEPA y Estuario.

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.

Martínez Rodríguez, G. A. 2024. Implementation of a Water Quality Restoration Strategy at the San Juan Bay Estuary and the Río Grande De Loíza (Below Dam) Estuary Contributing Zone (Phase II), Progress Report Encompassing Period from November 1, 2019, to September 30th, 2024. Prepared for Corporation for the Conservation of the San Juan Bay Estuary SJBE Contract Number C-72-250-03.

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

Rodríguez-Sierra, C. J., Mansilla-Rivera, I. y Bauzá-Ortega, J. F. 2025. Passive sampling of contaminants of emerging concern in a Caribbean urban estuary of Puerto Rico. Marine Pollution Bulletin, 213, 117674.

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

Trasfondo

Antes y durante el desarrollo de esta revisión del Plan de Estuario, la Conferencia de Manejo y la Junta de Directores de Estuario identificaron la necesidad de conocer mejor todas las contribuciones de contaminantes, sedimentos y nutrientes al sistema del EBSJ. El área de estudio actual de Estuario incluye las zonas inmediatamente adyacentes al sistema estuarino, sin embargo, excluye las cuencas asociadas a los ríos y quebradas principales río Grande de Loíza, río Bayamón y sus tributarios que desembocan en el estuario.

La descarga del río Grande de Loíza alcanza Boca de Cangrejos durante inundaciones extremas y afecta las poblaciones de manglar desde Vacía Talega hacia el oeste. El río Bayamón se desvió del estuario; sin embargo, algunos de sus afluentes aún desembocan en el estuario (Lugo y Bauzá-Ortega, 2024). La conexión entre estas áreas y el estuario, así como los efectos de las fuentes de contaminantes en estas cuencas sobre el estuario, no se comprenden plenamente. Además, existen descargas adicionales de aguas residuales, sistemas sépticos y fuentes de aguas pluviales dentro del área de estudio ampliada, que podrían contribuir a las cargas de contaminantes en el estuario. Asimismo, el agua llega a la cuenca del estuario a través de fuentes externas. Ejemplos de esto incluyen un superacueducto que transporta aproximadamente 70 millones de galones de agua dulce por día hacia San Juan desde fuera del municipio, y la Planta de Filtración de Agua Sergio Cuevas, que extrae agua del río Grande de Loíza en la represa ubicada en el barrio Carraízo de Trujillo Alto (USEPA, 2019). Se necesitan estudios adicionales, monitoreo y coordinación con los municipios para determinar si el límite programático de Estuario debe ampliarse en una futura revisión del plan.

La Figura 4 muestra el área de estudio ampliada que se investigará como parte de esta revisión del Plan de Estuario. El área de estudio ampliada incluye aproximadamente 1,833 kilómetros cuadrados de cuenca hidrográfica y abarca total o parcialmente 29 municipios, en comparación con el área de estudio actual de aproximadamente 221 millas cuadradas y ocho municipios. Además, esta área de estudio ampliada elimina el límite norte actual para incluir los sistemas costeros que reciben influencia de actividades terrestres e interactúan con el estuario.

El objetivo de ampliar el límite programático es ofrecer un enfoque más integral para manejar el sistema del EBSJ, su cuenca hidrográfica y los cuerpos de agua conectados. Además, esta expansión brindará la

oportunidad de influir mejor en los requisitos de fiscalización y regulación que beneficiarían al estuario.

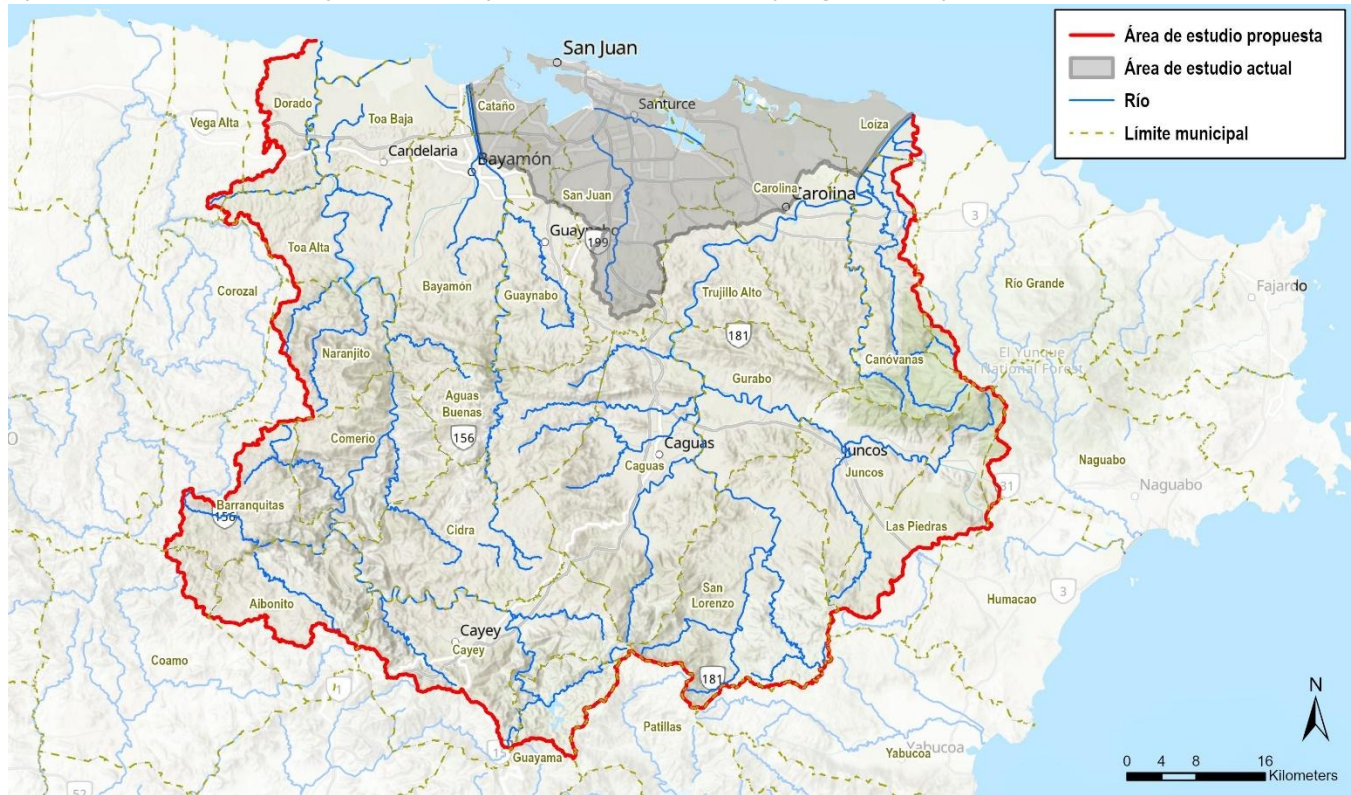


Figura 4. Límite actual del área de estudio de Estuario y área ampliada para evaluación

Objetivo

- Evaluar el impacto potencial de fuentes puntuales y difusas de contaminantes sobre el sistema estuarino provenientes de regiones fuera del área de estudio actual.

Acciones

***NUEVO* MI-35 Determinar las áreas de mayor descarga de aguas residuales en el área de estudio ampliada.**

Actividades

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Establecer e implementar protocolos de investigación para identificar ubicaciones de descargas de aguas residuales y evaluar el cumplimiento con los permisos NPDES en el área de estudio ampliada.	Mejorar la información sobre las ubicaciones de las descargas de aguas residuales y el cumplimiento de permisos.	Protocolo desarrollado para identificar las ubicaciones de descargas de aguas residuales y hallazgos del análisis de cumplimiento.	Líder: Estuario Socios implementadores: comunidad científica, academia, municipios y DRNA	Pendiente	0-2 años	TBD	Academia, municipios, DRNA
2. Evaluar los problemas de salud pública en las áreas con las mayores descargas de aguas residuales en el área de estudio ampliada.	Mejorar la información sobre las mayores contribuciones de aguas residuales en el área de estudio ampliada.	Datos evaluados sobre las mayores contribuciones de aguas residuales.	Líder: Estuario Socios implementadores: comunidad científica, academia, municipios y DRNA	Pendiente	3-5 años	TBD	Academia, municipios, DRNA
3. Desarrollar mapas que muestren los resultados del análisis de descargas de aguas residuales en el área de estudio ampliada para publicarlos en el tablero de datos de Estuario.	Mejorar la información sobre las ubicaciones de descargas de aguas residuales.	Mapas preparados que muestran las ubicaciones de contribución de aguas residuales.	Líder: Estuario Socios implementadores: comunidad científica, academia, municipios y DRNA	Pendiente	3-5 años	TBD	Academia, municipios, DRNA
4. Utilizar los resultados del estudio para identificar proyectos que eliminen las descargas de aguas residuales en el área de estudio ampliada.	Desarrollar plan para reducir el número de descargas de aguas residuales.	Lista de proyectos desarrollada para eliminar las descargas de aguas residuales con mayores impactos.	Líder: DRNA Socios implementadores: municipios y empresas de servicios públicos	Pendiente	Más de 5 años	TBD	USEPA, Fondo Rotatorio Estatal, DRNA, municipios, empresas de servicios públicos

Requisitos regulatorios y de política pública

No aplica para el estudio. Los resultados del estudio propuesto ayudarán a informar futuras necesidades regulatorias y de política pública.

***NUEVO* MI-36 Evaluar los sistemas sépticos y las fuentes de aguas subterráneas en el área de estudio ampliada.**

Actividades

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Establecer e implementar protocolos de investigación para identificar fugas de sistemas sépticos y contaminación de aguas subterráneas en el área de estudio ampliada.	Mejorar la información sobre las ubicaciones de contaminación por sistemas sépticos y aguas subterráneas.	Ubicaciones de contaminación por sistemas sépticos y aguas subterráneas identificadas.	Líder: Estuario Socios implementadores: comunidad científica, academia, municipios y DRNA	Pendiente	0-2 años	TBD	Academia, municipios, DRNA
2. Desarrollar mapas que muestren las áreas con la mayor contribución de contaminantes provenientes de sistemas sépticos y fuentes de aguas subterráneas en el área de estudio ampliada.	Mejorar la información sobre las fuentes de aguas subterráneas y sistemas sépticos con mayores aportes de contaminantes.	Mapas desarrollados que muestran las ubicaciones de contribución de sistemas sépticos y fuentes de aguas subterráneas.	Líder: Estuario Socios implementadores: comunidad científica, academia, municipios, empresas de servicios públicos e industria	Pendiente	3-5 años	TBD	DRNA, USEPA
3. Utilizar los resultados del estudio para identificar proyectos que mejoren el manejo de sistemas sépticos y aguas subterráneas en el área de estudio ampliada.	Desarrollar plan para atender las fuentes de aguas residuales con las mayores contribuciones de contaminantes.	Plan completado con ubicaciones críticas y proyectos potenciales.	Líder: DRNA Socios implementadores: municipios y empresas de servicios públicos	Pendiente	Más de 5 años	TBD	USEPA, DRNA, Fondo Rotatorio Estatal, municipios

Requisitos regulatorios y de política pública

No aplica para realizar el estudio. Los resultados ayudarán a informar futuras necesidades regulatorias y de política pública.

***NUEVO* MI-37 Investigar fuentes urbanas y agrícolas de aguas pluviales en el área de estudio ampliada.**

Actividades

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Desarrollar e implementar un estudio para recopilar datos sobre las fuentes de aguas pluviales en el área de estudio ampliada.	Mejorar la información sobre contaminantes, volúmenes y ubicaciones de aguas pluviales en el área de estudio ampliada.	Estudio completado para identificar fuentes de aguas pluviales.	Líder: Estuario Socios implementadores: comunidad científica, academia, municipios, propietarios de terrenos agrícolas, DRNA, PRDA y USDA	Pendiente	0-2 años	TBD	USEPA, DRNA, USDA
2. Desarrollar mapas que muestren los resultados de la evaluación de aguas pluviales en el área de estudio ampliada.	Mejorar la información sobre áreas con las mayores concentraciones de contaminantes provenientes de aguas pluviales.	Mapas desarrollados que muestran las ubicaciones de contribución de aguas pluviales.	Líder: Estuario Socios implementadores: comunidad científica, academia, municipios, propietarios de terrenos agrícolas, DRNA, PRDA y USDA	Pendiente	3-5 años	TBD	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.	Reducir la carga contaminante y el volumen de aguas pluviales en el área de estudio ampliada.	Lista de proyectos preparada para reducir la contaminación por aguas pluviales.	Líderes: DRNA Socios implementadores: municipios, propietarios de terrenos agrícolas, DRNA, PRDA y USDA	Pendiente	Más de 5 años	TBD	USEPA, DRNA, USDA, Fondo Rotatorio Estatal, municipios

Requisitos regulatorios y de política pública

No aplica para realizar el estudio. Los resultados ayudarán a informar futuras necesidades regulatorias y de política pública.

***NUEVO* MI-38 Estimar aportes de fuentes de agua hacia el área de estudio ampliada.**

Actividades

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Desarrollar un estudio para recopilar datos sobre concentraciones de nutrientes y contaminantes en las fuentes de agua que se incorporan al área de estudio ampliada.	Mejorar la información sobre concentraciones de nutrientes y contaminantes en las fuentes de agua.	Estudio completado para identificar contaminantes en las fuentes de agua.	Líder: Estuario Socios implementadores: comunidad científica, academia, AAA y DRNA	Pendiente	0-2 años	TBD	USEPA, DRNA, AAA
2. Identificar concentraciones de nutrientes o contaminantes en las fuentes de agua que se incorporan al área de estudio ampliada.	Mejorar los datos sobre altas concentraciones de nutrientes y contaminantes.	Contaminantes con altas concentraciones identificados.	Líder: Estuario Socios implementadores: comunidad científica, academia, AAA y DRNA	Pendiente	3-5 años	TBD	USEPA, DRNA, AAA
3. Coordinar con la AAA los proyectos de tratamiento necesarios para reducir contaminantes en las fuentes de agua que se incorporan al área de estudio ampliada.	Reducir las concentraciones de contaminantes que ingresan al área de estudio ampliada.	Contaminación reducida de las fuentes de agua.	Líder: DRNA Socio implementador: AAA	Pendiente	Más de 5 años	TBD	USEPA, DRNA, AAA, Fondo Rotatorio Estatal

Requisitos regulatorios y de política pública

No aplica para realizar el estudio. Los resultados ayudarán a informar futuras necesidades regulatorias y de política pública.

Referencias

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.

Ramírez, J. E., González, R. y 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.

Villanueva, E., L. J. Rivera Herrera, S. Rivera Colón, M. Tacher Roffe, C. Guerrero Pérez y C. Ortiz Gómez. 2000. Plan Integral de Manejo y Conservación del Estuario de la Bahía de San Juan. Programa del Estuario de la Bahía de San Juan, San Juan, PR.

MAINTAIN AND IMPROVE AGING AND FAILING GRAY AND GREEN INFRASTRUCTURE THAT NEGATIVELY IMPACTS WATER AND BOTTOM SEDIMENT QUALITY

SANITARY SEWER INFRASTRUCTURE

BASELINE

Sanitary sewer infrastructure within the San Juan Bay Estuary (SJBE) system is critical for maintaining water quality 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 and protect aquatic habitats.

The discharge of raw sewage into the SJBE presents a health risk to surrounding communities, estuary users, and living resources (Estuario, 2000). 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). Public health impacts are a significant concern associated with inadequate wastewater management. The state of sanitary sewer infrastructure directly affects the risk of waterborne diseases and other health issues, particularly among vulnerable populations in the region.

The absence of proper sanitary sewer coverage in densely populated sectors, such as Juana Matos, Cucharillas, and Puente Blanco in Cataño, contributes significantly to the degradation of water quality within the SJBE and its tributaries. Additionally, communities such as Cantera, Marina, Buena Vista, Israel, and Bitimul 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 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. Approximately 35%–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.

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. The National Pollutant 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 (USEPA, 2011). These systems specifically, 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 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).

Illicit discharges from unauthorized sources further complicate water quality challenges in the SJBE. These discharges can originate from industrial activities, informal systems, and stormwater runoff, complicating monitoring and enforcement efforts. Effective identification and response to illicit discharges require collaboration among local agencies and community education and involvement, which is often hampered by limited resources. As the population in the watershed continues to grow and the existing wastewater infrastructure ages and becomes inadequate, there is a pressing need to invest in new infrastructure and technology to provide reliable and higher levels of wastewater treatment.

There are frameworks and plans in place to help address the current challenges associated with sanitary sewer infrastructure. Puerto Rico Aquifer and Sewer Authority (PRASA) is implementing an extensive capital improvements program across the island, with 67 projects currently underway in the study area. These projects range from replacing outdated pipes to rehabilitating entire sanitary sewer systems. Furthermore, the Caño Martín Peña Comprehensive Infrastructure Master Plan represents a proactive approach to addressing the unique challenges faced by communities around Caño Martín Peña. This plan emphasizes community agency and incorporates extreme events risk analysis to develop strategies for improving water quality and public health.

The SJBE Illegal Discharges Detection & Elimination Task Force (IDDE) Task Force is a working group assembled in 2014 by Estuario that meets periodically to discuss and implement solutions for the elimination of illegal and unauthorized sewage discharges in the SJBE watershed. The IDDE Task Force includes members from the state and federal environmental agencies, municipalities, academia, and stakeholders. After the IDDE Task Force was created in 2014, Estuario received a grant from the Puerto Rico Environmental Quality Board (now Department of Natural and Environmental Resources [DNER]) through the State Revolving Funds and Section 319 of the Clean Water Act to identify raw sewage and other pollutant discharges in the SJBE watershed. After a careful and rigorous selection process, Estuario contracted the University of Puerto Rico's Agriculture Experimental Station to perform the study. The study's findings are discussed through the IDDE Task Force; therefore, this group became the platform to implement and monitor corrective actions.

Ultimately, the successful elimination of illegal commercial and residential sewage discharges relies on a multifaceted approach that combines routine monitoring, community engagement and education, regulatory enforcement, and infrastructure enhancement. The SJBE faces significant challenges related to wastewater management stemming from aging infrastructure, growing population density, and environmental pressures.

OBJECTIVES

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

ACTIONS

MI-01 DESIGN AND CONSTRUCT A SANITARY SEWER SYSTEM FOR THE COMMUNITIES FRINGING THE EASTERN SECTION OF CAÑO MARTÍN PEÑA AND OTHER AREAS THAT LACK AN ADEQUATE SYSTEM.
ADAPTATION

ACTIVITIES

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Implement the priority sanitary sewer improvements recommended in the Caño Martín Peña Infrastructure Master Plan to improve water quality and system performance.	Reduce pollutants to the SJBE system from sanitary sewer systems in these communities.	Added sanitary sewer systems for the communities along the Caño Martín Peña.	Lead: PRASA Implementing partners: DNER, Municipality of San Juan, regulatory agencies	On Track	5+ years	TBD	USEPA, State Revolving Fund, PRASA, DNER, municipalities, Federal Emergency Management Agency (FEMA), Community Development Block Grant (CDBG), U.S. Army Corps of Engineers (USACE)
2. Use the Caño Martín Peña Infrastructure Master Plan to develop a sanitary sewer management plan for the Caño Martín Peña communities (Barrio Obrero San Ciprián, Buena Vista Santurce and Israel – Bitumul).	Identify priority areas for sanitary sewer infrastructure improvements and construction.	Identified 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, USACE
3. Conduct a needs assessment in conjunction with the communities to identify additional areas that currently lack sanitary sewer systems.	Complete a needs assessment report identifying areas without sanitary sewer coverage.	Completed assessment.	Lead: PRASA Implementing partners: DNER, scientific community, municipalities, community groups, Estuario	Pending	0-2 years	TBD	USEPA, DNER, municipalities, USACE
4. Develop designs and plans of identified areas and secure funding to support the construction and maintenance of new sewer systems.	Complete design plans and successful acquisition of funding commitments.	Finalized designs and secure funding.	Lead: PRASA Implementing partners: DNER, scientific community, municipalities, Estuario	Pending	3-5 years	TBD	USEPA, DNER, municipalities, USACE

5. Develop a wastewater management plan for the San Juan Metropolitan Region that includes infrastructure upgrades, regulatory compliance measures, pollution reduction strategies, emergency response protocols, and funding sources.	Complete a comprehensive wastewater management plan addressing upgrades, compliance, pollution reduction, and emergency response.	Developed and implemented the wastewater management plan.	Lead: PRASA Implementing partners: DNER, municipalities, private utilities, regulatory agencies, academia	Pending	3-5 years	TBD	USEPA, DNER, municipalities
6. Construct and achieve fully operational status for new sanitary sewer systems and monitor effectiveness and compliance.	Construct new sanitary sewer systems and verify that they are fully operational.	Completed construction and achieved full operational status.	Lead: PRASA Implementing partners: DNER, municipalities	Pending	5+ years	TBD	USEPA, DNER, municipalities, USACE

REGULATORY AND POLICY REQUIREMENTS

Raw sewage discharges into surface waterbodies result in a violation of DNER’s Water Quality Standards and USEPA issued NPDES permits and their implementing regulations. A compliance plan must be developed, funded, and enforced.

MI-02 IMPLEMENT INFRASTRUCTURE RETROFITS TO SUPPORT THE REDUCTION OF RAW SEWAGE DISCHARGES INTO THE SJBE. ADAPTATION

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.	Improve collection system and pump station maintenance to reduce discharges.	Reduced the number of overflow incidents per year.	Lead: PRASA Implementing partner: DNER	On Track	5+ years	TBD	PRASA, State Revolving Fund, USACE
2. Identify and work with private utilities to improve private sewage collection and treatment systems.	Improve collection system and pump station maintenance to reduce discharges.	Established partnerships with private utilities to reduce discharges.	Lead: Private utilities Implementing partners: USEPA, Estuario	Pending	0-2 years	TBD	USEPA, State Revolving Fund, USACE

3. Identify and address locations of unregulated/ unauthorized sewer outflows and conduct enforcement.	Reduce pollutants from wastewater in stormwater outflows.	Reduced pollutant concentrations from combined sewer outflows through compliance.	Lead: DNER Implementing partner: USEPA	Pending	3-5 years	TBD	USEPA, State Revolving Fund, USACE
4. Prioritize and implement correction programs for unresolved or high-risk contamination sites such as Juan Méndez Creek North, El Cinco, Fairview (16th Street), and Country Club.	Identify and prioritize high-risk contamination sites for remediation.	Developed and approved 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, USACE
5. 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.	Designed and implemented redundancies covering critical system components.	Leads: PRASA, private utilities Implementing partners: DNER, USEPA	Pending	3-5 years	TBD	USEPA, State Revolving Fund, USACE
6. Facilitate discussion and participation in the IDDE Task Force.	Number of IDDE Task Force meetings held and level of stakeholder participation.	Conducted IDDE Task Force meetings.	Lead: Estuario Implementing partners: PRASA, DNER, USEPA, municipalities, academia	Pending	0-2 years	TBD	USEPA, USACE

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.

MI-03 ELIMINATE ILLEGAL COMMERCIAL AND RESIDENTIAL SEWAGE DISCHARGES INTO THE STORMWATER SEWER SYSTEM.

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.	Improve illicit discharge reporting and tracking.	Documented and mapped identified sanitary connections to the storm sewer system.	Leads: DNER, PRASA Implementing partners: municipalities	Ongoing	0-2 years	TBD	DNER, municipalities, PRASA, USEPA, State Revolving Fund, USACE
2. Connect illicit discharges to the sanitary sewer system and conduct enforcement for any violators who do not connect.	Reduce the number of illicit discharges.	Identified violators and connected them to the sanitary sewer system or conducted enforcement .	Leads: PRASA, municipalities, DNER Implementing partner: USEPA	Ongoing	0-2 years	TBD	DNER, municipalities, PRASA, State Revolving Fund, USACE, USEPA
3. 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.	Completed construction in high-risk areas.	Leads: PRASA, municipalities Implementing partner: DNER	Pending	5+ years	TBD	DNER, municipalities, PRASA, State Revolving Fund, USACE

REGULATORY AND POLICY REQUIREMENTS

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

**NEW* MI-04 COLLABORATE WITH LOCAL INDUSTRY TO IMPROVE WASTEWATER INFRASTRUCTURE AND TREATMENT LEVELS USING THE BEST AVAILABLE TECHNOLOGY. ADAPTATION*

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.	Complete an evaluation report identifying nutrient removal deficiencies and upgrade needs at treatment plants.	Completed evaluation for all identified treatment plants.	Lead: PRASA Implementing partners: private utilities, regulatory agencies	Pending	0-2 years	TBD	USEPA, DNER, municipalities, private utilities, USACE

2. Develop partnerships with industry to identify viable wastewater treatment technologies with higher treatment efficiencies and modify wastewater treatment standards to require higher pollutant removal.	Improve treatment of wastewater.	Established partnerships to identify innovate treatment technologies and revised treatment standards.	Leads: PRASA, private utilities, DNER Implementing partners: local industries, Estuario, USEPA	Pending	3-5 years	TBD	PRASA, private utilities, local industries, DNER, USEPA
3. Implement identified technologies with higher treatment levels at major wastewater facilities.	Improve treatment of wastewater resulting in reduced pollutants discharged to the SJBE system.	Installed and operated treatment technologies.	Leads: PRASA, private utilities Implementing partners: local industries	Pending	3-5 years	TBD	USEPA, State Revolving Fund, local industries

REGULATORY AND POLICY REQUIREMENTS

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

**NEW* MI-05 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.*

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.	Develop and implement formal protocols and workflows for inter-agency coordination and response.	Approved coordination protocols with key agencies.	Lead: Estuario Implementing partners: DNER, USEPA, PRASA, Department of Transportation and Public Works (DTOP), private utilities, municipalities	Pending	0-2 years	TBD	DNER, USEPA
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.	Established 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. Develop a training curriculum for responding to and reporting wastewater overflows and collaborate with public and private utilities to conduct workshops.	Define a process to respond to and report wastewater spills and educate staff to better track wastewater overflows.	Trained personnel and citizens to respond to and report wastewater overflows.	Leads: DNER, USEPA Implementing partners: PRASA, private utilities, DTOP, Estuario	Pending	3-5 years	TBD	DNER, USEPA
4. Design, build, test, and publish the integrated public system and dashboard and encourage community participation in reporting illicit discharges.	Increase engagement and provide a system for illicit discharge reporting.	Published the integrated public system and dashboard.	Lead: Estuario Implementing partners: DNER, USEPA, PRASA, DTOP, private utilities, municipalities	Pending	3-5 years	TBD	DNER, USEPA

REGULATORY AND POLICY REQUIREMENTS

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

REFERENCES

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, 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.

Caño Martín Peña Comprehensive Infrastructure Master Plan. 2022.

https://issuu.com/canomartinpena/docs/20220902-plan_maestro_integral_infraestructura-re?fr=xKAE9_zU1NQ.

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>.

Estuario. 2025. Citizen Scientist Certification. <https://estuario.org/ccc/>

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. Pages 22-27 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.

- Martínez, G. A. 2024. Implementation of a Water Quality Restoration Strategy at the San Juan Bay Estuary and the Río Grande De Loíza (Below Dam) Estuary Contributing Zone (Phase II). Progress Report Encompassing Period From November 1, 2019 to September 30, 2024. Corporation for the Conservation of the San Juan Bay Estuary, SJBE Contract Number C-72-250-03.
- Martínez, G. A., M. A. Vázquez, and Y. Bermúdez. 2022. Evaluation of unanticipated spill reports from PRASA's sanitary pump stations 2016-2021. University of Puerto Rico College of Agricultural Sciences, Mayagüez, PR.
- Ortiz Zayas, J. R., E. Cuevas, O. L. Mayol Bracero, L. Donoso, I. Trebs, D. Figueroa Nieves, and W. H. McDowell. 2006. Urban influences on the nitrogen cycle in Puerto Rico. *Biogeochemistry* 79:109-133.
- PRASA. Capital Improvement Program – Interactive Map. 2025.
<https://www.acueductos.pr.gov/infraestructura/programa-de-mejoras-capitales>
- PRASA. 2020. Five Year Strategic Plan 2021-2025.
<https://docs.pr.gov/files/AAA/Nuestra%20AAA/Documentos/PRASA%20Strategic%20Plan%202020-2025.pdf>.
- PRASA. Consent Decree (United States of America v. Puerto Rico Aqueduct and Sewer Authority). May 10, 2016.
- PRASA. Climate Change Vulnerability Analysis. September 2014.
[https://docs.pr.gov/files/AAA/Infraestructura/Documentos/Estudio%20de%20vulnerabilidad%20\(PDF%20-%2033M\).pdf](https://docs.pr.gov/files/AAA/Infraestructura/Documentos/Estudio%20de%20vulnerabilidad%20(PDF%20-%2033M).pdf)
- Rodríguez-Sierra, C.J., Mansilla-Rivera, I., & Bauzá-Ortega, J.F. 2025. Passive sampling of contaminants of emerging concern in a Caribbean urban estuary of Puerto Rico. *Marine pollution bulletin*, 213, 117674.
- Sepúlveda-Rivera, A. and J. Carbonell, 1988. Cangrejos-Santurce: Historia ilustrada de su desarrollo urbano (1519-1950), Centro de Investigaciones. CARIMAR/Oficina Estatal de Preservación Histórica. 85 pp.
- Vila Biaggi I. M. 2019. Caño Martín Peña Urban Water Location Work Plan. Caño Martín Peña, San Juan, Puerto Rico.
- Webb, R. M. T., and F. Gómez Gómez 1998. Synoptic survey of water quality and bottom sediments. San Juan Bay estuary system, Puerto Rico, December 1994-July 1995. Water Resources Investigations Report 97-4144. U.S. Geological Survey, San Juan, PR.
- USACE. 2016. Final Feasibility Report: Caño Martín Peña Ecosystem Restoration Project. February 2016.
- USEPA. 2025. Clean Water Solutions for Puerto Rico's Isolated Communities. <https://www.epa.gov/water-research/clean-water-solutions-puerto-ricos-isolated-communities>.
- USEPA. 2023. EPA Requires Puerto Rico Aqueduct and Sewer Authority to Upgrade Sewage Infrastructure Under Modified Agreement. Accessed at: <https://www.epa.gov/newsreleases/epa-requires-puerto-rico-aqueduct-and-sewer-authority-upgrade-sewage-infrastructure>.
- USEPA. 2021. Innovative Nutrient Removal Technologies: Case Studies of Intensified or Enhanced Treatment. Office of Water. Office of Wastewater Management, Water Infrastructure Division, Sustainable Communities and Infrastructure Branch. EPA 830-R-01-001.

USEPA. 2021. Fact Sheet Puerto Nuevo Regional Wastewater Treatment Plant.

USEPA. 2021. PRASA Bayamon Regional Wastewater Treatment Plant Fact Sheet.

USEPA. 2021. Using Nationwide and Local Data Sources to Address Decentralized Wastewater Infrastructure Challenges in the Contiguous U.S. and the Caribbean. <https://www.epa.gov/system/files/documents/2021-10/using-data-to-address-decentralized-ww-infrastructure-challenges.pdf>

USEPA. 2020. Fact Sheet Carolina Regional Wastewater Treatment Plant.

USEPA. February 2019. EPA Initiative Promotes Stronger, More Effective Septic Systems in the Caribbean. <https://www.epa.gov/archive/epa/newsreleases/epa-initiative-promotes-stronger-more-effective-septic-systems-caribbean.html>.

USEPA. June 2011. Decision Document: Analysis of the Section 301(h) Modification of Secondary Treatment Applications for the Bayamon and Puerto Nuevo Regional Wastewater Treatment Plants. 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).

Figure 1. 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 sampling period (Santos Flores and Martínez-Rodríguez, 2020).

These waterbodies gather 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 harmful algal blooms 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 wetlands, 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 throughout the SJBE watershed, exacerbated by urban expansion, upstream deforestation, 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. Consequently, these pollutants can enter the SJBE and affect its ecological functions for months or even years (Lugo and Bauzá Ortega, 2024). 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. 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).

In light of these challenges, updating and enhancing comprehensive drainage maps of the SJBE watershed is essential for effective water management and flood mitigation strategies. Accurate and detailed drainage maps provide critical information about the existing stormwater infrastructure, including drainage patterns, flow paths, and areas prone to flooding. Enhanced drainage maps can facilitate better planning and decision-making processes. 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.

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. The Caño Martín Peña Special Planning 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). In addition, communities within the San Juan Metropolitan Region, that are part of SJBE watershed, face significant challenges due to inadequate or nonexistent stormwater infrastructure. Many neighborhoods, particularly those in low-lying or rapidly urbanizing areas, lack proper drainage systems to effectively manage stormwater runoff. This deficiency leads to frequent flooding, property damage, and increased public health risks from waterborne

contaminants during rain events. Moreover, the absence of effective comprehensive stormwater management contributes to the degradation of water quality in local waterways.

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.

To improve stormwater infrastructure in the watershed a combination of gray, green, and hybrid solutions should be considered. Gray infrastructure refers to traditional, engineered systems such as stormwater drains designed to manage water flows and move stormwater 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 benefits (USEPA, 2017). Recognizing the interdependence of gray and green infrastructure, the development of hybrid infrastructure solutions may be needed 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 processes (USACE, 2013). In the case of the SJBE, ecosystem services examples include flood mitigation, water purification, and habitat provision.

Sustainable development practices have become increasingly essential in urban regions to reduce environmental impacts, improve energy efficiency, and enhance community well-being. 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). In addition, the 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.

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 weather 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

MI-06 DESIGN AND CONSTRUCT A STORMWATER SYSTEM FOR THE COMMUNITIES FRINGING THE EASTERN SECTION OF CAÑO MARTÍN PEÑA AND OTHER ADJACENT COMMUNITIES THAT CURRENTLY LACK ADEQUATE INFRASTRUCTURE. ADAPTATION

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.	Reduce pollutants to the SJBE system from stormwater runoff in these communities.	Completed stormwater projects in the communities along Caño Martín Peña.	Lead: PRASA Implementing partners: municipalities	On Track	5+ years	TBD	USEPA, State Revolving Fund, PRASA, DNER, municipalities, USACE
2. Identify priority areas, analyze drainage patterns, and determine flood risks with engagement from community members and local stakeholders.	Complete a risk assessment report identifying priority areas with detailed analysis of drainage patterns and flood vulnerabilities.	Finalized analysis of priority areas.	Leads: DNER, DTOP, municipalities Implementing partners: scientific community, community groups, Estuario	Pending	0-2 years	TBD	USEPA, DNER, municipalities, DTOP, USACE
3. Develop a stormwater management plan for the SJBE watershed and implement priority recommendations.	Identify priority areas and implement projects for stormwater infrastructure improvements.	Executed priority projects from the stormwater management plan.	Leads: Estuario, PRASA Implementing partners: DNER, municipalities, academia, scientific community, community groups	Pending	3-5 years	TBD	State Revolving Fund, USEPA, PRASA, DNER, municipalities, USACE

REGULATORY AND POLICY REQUIREMENTS

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

**NEW* MI-07 DESIGN AND UPGRADE THE CURRENT INFRASTRUCTURE TO SUPPORT STORMWATER MANAGEMENT IN THE SAN JUAN METROPOLITAN REGION. ADAPTATION*

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 with input from community members and stakeholders.	Complete a detailed infrastructure assessment report identifying deficiencies, aging components, and vulnerable areas.	Finalized assessment for all critical infrastructure.	Leads: DNER, DTOP, municipalities Implementing partners: scientific community, community groups, Estuario	Pending	3-5 years	TBD	USEPA, DNER, municipalities, DTOP, USACE
2. Conduct an hydrologic and hydraulic assessment of the Río Piedras watershed to identify priority areas.	Complete an hydrologic and hydraulic assessment report identifying priority areas for intervention.	Finalized hydrologic and hydraulic assessment and made the information publicly available.	Leads: DNER, PRASA, scientific community Implementing partners: Municipality of San Juan, La Alianza, Coalición Comunitaria, Estuario, USACE	Pending	3-5 years	TBD	USEPA, DNER, PRASA, USACE
3. Develop retrofit designs with a focus on green infrastructure with involvement from local communities and stakeholders.	Complete retrofit design plans emphasizing green infrastructure solutions with community and stakeholder input.	Finalized green infrastructure retrofit designs	Leads: DNER, PRASA, Municipality of San Juan, Estuario Implementing partners: Scientific community, La Alianza, Coalición Comunitaria, Para La Naturaleza USACE, DTOP, PRASA, academia, USACE	Pending	3-5 years	TBD	USEPA, DNER, PRASA, USACE

4. Secure funding and regulatory approvals to then implement construction and installation.	Secure funding and obtain regulatory approvals for project implementation.	Secured required funding and regulatory approvals.	Leads: DNER, DTOP, municipalities Implementing partners: scientific community, community groups	Pending	5+ years	TBD	USEPA, DNER, municipalities, DTOP, USACE
---	--	--	--	---------	----------	-----	--

REGULATORY AND POLICY REQUIREMENTS

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

**NEW* MI-08 DEVELOP AND IMPLEMENT A STORMWATER MANAGEMENT PLAN AT THE WATERSHED LEVEL FOR THE SAN JUAN METROPOLITAN REGION. ADAPTATION*

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.	Complete a comprehensive study detailing causes, frequency, and impacts of flow reversals on water quality and flooding.	Finalized study and provided 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 and land cover maps for the San Juan Metropolitan Region and create a georeferenced map of the stormwater management system.	Complete updated drainage, land cover, and stormwater system maps incorporating recent data and field verification.	Delivered updated maps to stakeholders.	Lead: Estuario Implementing partners: DNER, PRASA, DTOP, municipalities, scientific community, community groups	Pending	3-5 years	TBD	USEPA, DNER, municipalities, DTOP
3. Develop the stormwater management plan with community participation in identifying main stressors and priorities.	Improve stormwater management.	Gathered 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* MI-09 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. ADAPTATION***

ACTIVITIES

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Conduct an hydrologic and hydraulic assessment of the Río Piedras watershed to identify priority areas.	Complete an hydrologic and hydraulic assessment report identifying priority areas for intervention.	Finalized hydrologic and hydraulic assessment and made the information publicly available.	Leads: DNER, PRASA, scientific community Implementing partners: Municipality of San Juan, La Alianza, Coalición Comunitaria, Estuario, USACE	Pending	3-5 years	TBD	USEPA, DNER, PRASA, USACE
2. Develop retrofit designs with a focus on green infrastructure with involvement from local communities and stakeholders.	Complete retrofit design plans emphasizing green infrastructure solutions with community and stakeholder input.	Finalized green infrastructure retrofit designs	Leads: DNER, PRASA, Municipality of San Juan, Estuario Implementing partners: Scientific community, La Alianza, Coalición Comunitaria, Para La Naturaleza USACE, DTOP, PRASA, academia, USACE	Pending	3-5 years	TBD	USEPA, DNER, PRASA, USACE
3. Expand monitoring to gather additional data on water level flows pre- and post-project.	Additional information to evaluate the project benefits.	Implemented expanded monitoring in the project area.	Lead: DNER Implementing partners: Municipality of San Juan, USACE, Estuario	Pending	5+ years	TBD	DNER, USACE
4. Maintain infrastructure to allow for proper stormwater conveyance.	Improved stormwater conveyance.	Added regular maintenance of the stormwater system.	Lead: Municipality of San Juan Implementing partner: DNER	Pending	3-5 years	TBD	Municipality of San Juan, DNER

REGULATORY AND POLICY REQUIREMENTS

None.

MI-10 RESTORE AND ENHANCE CONNECTIVITY OF RIPARIAN CORRIDORS ALONG THE SJBE TRIBUTARIES. ADAPTATION

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.	Identify corridors for restoration based on existing conditions assessment.	Identified riparian corridors suitable for restoration.	Leads: 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 and maintenance plans based on the condition of selected riparian corridors.	Improve condition of riparian corridors.	Created and implemented a restoration and maintenance plan for riparian corridors.	Leads: DNER, USFS, NRCS Implementing partners: municipalities, Estuario	On Track	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* MI-11 RESTORE AND MAINTAIN THE NATURAL FLOW REGIMES OF TRIBUTARIES TO MAXIMIZE STORMWATER MANAGEMENT POTENTIAL ADAPTATION*

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 and monitor the flow recovery, stormwater benefits, and ecological health.	Complete and approve restoration plans focused on natural channel morphology and floodplain connectivity.	Developed plans and implemented restoration activities.	Leads: 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.	Removed or retrofitted identified flow-disruption barriers.	Leads: DNER, PRASA, private utilities Implementing partners: municipalities	Pending	5+ years	TBD	USEPA, DNER, PRASA, State Revolving Fund

REGULATORY AND POLICY REQUIREMENTS

None.

MI-12 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.

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.	Finalized assessment of the stormwater system.	Leads: 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 best management practices (BMPs) and green infrastructure techniques.	Reduce pollutants through BMPs and green infrastructure.	Provided technical support to jurisdictions to result in BMPs and 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.	Increased permit compliance within the watershed.	Lead: DNER Implementing partners: PRASA, municipalities, private utilities	Pending	3-5 years	TBD	USEPA, DNER
4. Facilitate regional collaboration for shared resources.	Number of regional collaboration meetings held and shared resource agreements established.	Organized collaboration meetings.	Leads: Estuario, DNER Implementing partners: PRASA, municipalities, private utilities	Pending	2-3 years	TBD	USEPA, State Revolving Fund, DNER

REGULATORY AND POLICY REQUIREMENTS

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

MI-13 VALIDATE AND IMPLEMENT THE MASTER PLAN FOR GREEN INFRASTRUCTURE IN THE SJBE WATERSHED. ADAPTATION

ACTIVITIES

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
----------	----------------------	------------	---	--------	-----------	-----------------	---------------------------

<p>1. Validate the Green Infrastructure Master Plan.</p>	<p>Complete a validation report confirming the accuracy, feasibility, and stakeholder acceptance of the Green Infrastructure Master Plan.</p>	<p>Conducted validation activities.</p>	<p>Lead: Estuario, PRASA, municipalities Implementing partners: DNER, academia</p>	<p>Pending</p>	<p>3-5 years</p>	<p>TBD</p>	<p>USEPA, State Revolving Fund, DNER, USACE</p>
<p>2. Develop and distribute technical guides and resources on installing and maintaining green infrastructure features.</p>	<p>Number of technical guides developed and distributed, and user engagement metrics.</p>	<p>Produced and distributed comprehensive technical guides.</p>	<p>Leads: DNER, Estuario Implementing partners: municipalities, scientific community, academia, local community groups</p>	<p>Pending</p>	<p>0-2 years</p>	<p>TBD</p>	<p>USEPA, DNER</p>
<p>3. Conduct education and outreach campaigns to inform private property owners about the benefits of green infrastructure practices.</p>	<p>Number of education and outreach events held, and quantity of informational materials distributed to private property owners.</p>	<p>Conducted outreach events.</p>	<p>Leads: DNER, Estuario Implementing partners: municipalities, scientific community, academia, local community groups</p>	<p>Pending</p>	<p>0-2 years</p>	<p>TBD</p>	<p>USEPA, DNER</p>
<p>4. Establish financial incentives or assistance programs to incentivize green infrastructure installation.</p>	<p>Number of financial incentive programs established, and amount of funding allocated for green infrastructure installations.</p>	<p>Launched financial incentive programs.</p>	<p>Leads: Legislature, DNER, Estuario Implementing partners: municipalities, scientific community, academia, local community groups</p>	<p>Pending</p>	<p>3-5 years</p>	<p>TBD</p>	<p>USEPA, DNER</p>

5. Assess current urban and agricultural practices and develop a plan for implementation of traditional and nature-based BMPs in urban and agricultural areas with the greatest need.	Prioritize list of traditional and nature-based BMPs.	Created a list of BMPs for urban and agricultural areas.	Leads: Puerto Rico Department of Agriculture (PRDA), United States Department of Agriculture (USDA), Estuario Implementing partners: Academia, scientific community, agricultural landowners, municipalities	Pending	3-5 years	TBD	USEPA, municipalities, PRDA, USDA
6. Implement BMPs in identified high priority areas.	Reduce stormwater runoff impacts in the SJBE watershed.	Installed BMPs in priority areas.	Leads: PRDA, USDA Implementing partners: Municipalities	Pending	5+ years	TBD	USEPA, PRDA, USDA
7. Evaluate the watershed to identify key urban locations to increase vegetative cover and prepare a reforestation plan that identifies locations, accepted tree types, and care requirements.	Identify locations for tree canopy needs.	Completed an assessment to identify key urban locations with insufficient tree cover.	Leads: DNER, USFS, NRCS Implementing partners: municipalities, academia, local organizations, Estuario	Pending	3-5 years	TBD	DNER, USFS, NRCS
8. Implement the plan by planting trees in identified priority locations in coordination with local organizations.	Increase tree canopy in the urban areas.	Planted trees in identified priority locations.	Leads: DNER, USFS, NRCS Implementing partners: Municipalities, local organizations	Pending	5+ years	TBD	DNER, USFS, NRCS, USEPA

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 and to incentivize the planting of native trees.

**NEW* MI-14 WORK WITH THE LEGISLATURE, AGENCIES, MUNICIPALITIES, AND PRIVATE DEVELOPERS TO SPUR THE DEVELOPMENT OF LEED-CERTIFIED DEVELOPMENTS.*

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.	Increased LEED-accredited individuals.	Lead: DNER Implementing partners: municipalities, developers, academia, scientific community	Pending	5+ years	TBD	DNER, academia
2. Collaborate with planning and regulatory agencies to integrate LEED requirements into zoning and code requirements and provide incentives to encourage developers to pursue LEED certifications.	Engage planning and regulatory agencies to adopt LEED requirements and incentives into zoning and building codes.	Collaborated with key agencies and implemented incentive programs.	Leads: DNER, Estuario Implementing partners: municipalities, developers, academia, scientific community	Pending	3-5 years	TBD	USEPA, DNER, State Revolving Fund, municipalities
3. 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.	Conducted coordination meetings.	Leads: 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* MI-15 CONDUCT A STUDY TO EVALUATE THE FREQUENCY AND DURATION OF FLOW REVERSALS DUE TO STORMWATER RUNOFF TO IMPROVE MASS BALANCE ESTIMATES AND TO UPDATE DRAINAGE MAPS. ADAPTATION*

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, collect additional data, and share a report with findings and recommendations for potential projects.	Improve data to evaluate stormwater flow reversal impacts.	Completed a stormwater flow and reversals study and reported on potential projects.	Lead: Estuario Implementing partners: Academia, scientific community, local organizations	Pending	3-5 years	TBD	USEPA, DNER
2. Implement project recommendations from study.	Reduce impacts to the SJBE system from stormwater flow reversals.	Executed priority project recommendations from the study.	Leads: DNER, DTOP Implementing partners: municipalities	Pending	5+ years	TBD	USEPA, State Revolving Fund, DNER

3. Gather existing drainage maps and data, conduct surveys to verify data and collect new information, and create a geodatabase.	Comprehensive database of existing drainage information.	Compiled database.	Leads: PRASA, DNER Implementing partners: Academia, scientific community, municipalities, Estuario	Pending	0-2 years	TBD	DNER, PRASA, municipalities, USACE
4. Publish updated maps and findings.	Share knowledge for decision making on stormwater management.	Created and distributed findings report to stakeholders.	Leads: PRASA, DNER Implementing partners: Academia, scientific community, municipalities, Estuario	Pending	3-5 years	TBD	DNER, PRASA, municipalities, USACE

REGULATORY AND POLICY REQUIREMENTS

None.

**NEW* MI-16 ADD THE DE DIEGO FLOOD CONTROL PUMPING STATION DISCHARGE POINT TO THE IMPAIRED WATERS LIST.*

ACTIVITIES

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Add the De Diego FCPS Costa- PREC13 East Side of Condado Bridge to Punta Las Marías segment to the 303(d) list of impaired waters.	Add waterbody segment to the 303(d) impaired waterbodies list.	Listed waterbody segment as impaired.	Lead: DNER Implementing partners: DNER, Estuario	Pending	0-2 years	TBD	DNER
2. Determine appropriate biological response and nutrient standards for this segment.	Set biological and nutrient standards for the impaired segment.	Established biological and nutrient standards.	Lead: DNER Implementing partners: DNER, Estuario	Pending	0-2 years	TBD	DNER
3. Evaluate the extent of the mixing zone for the discharge location.	Establish a mixing zone for the discharge point.	Established mixing zone.	Lead: DNER Implementing partners: DNER, Estuario	Pending	5+ years	TBD	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.

Martínez, G. 2024. University of Puerto Rico, Mayagüez Campus. De Diego Water Pump Report.

<https://estuario.org/wp-content/uploads/2025/05/UPR-De-Diego-pump-report-9-6-24-compressed.pdf>.

Proyecto ENLACE. Caño Martín Peña Comprehensive Infrastructure Master Plan. 2022.

https://issuu.com/canomartinpena/docs/20220902-plan_maestro_integral_infraestructura_re?fr=xKAE9_zU1NQ.

Ramírez, A., A. Engman, K. G. Rosas, O. Perez Reyes, and D. M. Martinó cardona. 2012. Urban impacts on tropical island streams: some key aspects influencing ecosystem response. *Urban Ecosystems* 15:315-325.

Santos Flores C.J., and Martínez-Rodríguez A. 2020. A Preliminary Characterization of the Plankton of San José Lagoon, Puerto Rico.

USACE. 2023. Rio Puerto Nuevo Flood Damage Reduction Project.

<https://www.saj.usace.army.mil/About/Divisions-Offices/Antilles-Office/Rio-Puerto-Nuevo/>.

USGBC. 2023. LEED Rating System. <https://www.usgbc.org/leed>.

United States of America v. The Municipality of San Juan, The Puerto Rico Department of Natural and Environmental Resources, the Puerto Rico Department of Transportation and Public Works, The Puerto Rico Highway and Transportation Authority, and The Commonwealth of Puerto Rico. Consent Decree. October 2015. https://estuario.org/wp-content/uploads/2020/10/united_states_v._san_juan_municipality_of.pdf

USDOJ. 2015. Puerto Rico's Government to Make Major Upgrades to San Juan Water Infrastructure in Settlement with the Federal Government. <https://www.justice.gov/archives/opa/pr/puerto-rico-s-government-make-major-upgrades-san-juan-water-infrastructure-settlement-federal>.

USEPA. 2023. Developing a Stormwater Pollution Prevention Plan (SWPPP).

<https://www.epa.gov/npdes/developing-stormwater-pollution-prevention-plan-swppp>.

USEPA. 2021. What is Green Infrastructure? Accessed at: <https://19january2021snapshot.epa.gov/green-infrastructure/what-green-infrastructure.html>.

USEPA. 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.

USEPA. 2016. Green Building. <https://archive.epa.gov/greenbuilding/web/html/>.

USEPA. 2015. Researching Green Infrastructure in Tropical Climates. Accessed at: <https://www.epa.gov/eco-research/researching-green-infrastructure-tropical-climates>.

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

Webb, R. M. T., and F. Gómez Gómez 1998. Synoptic survey of water quality and bottom sediments, San Juan Bay estuary system, Puerto Rico, December 1994-July 1995. Water Resources Investigations Report 97-4144. 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 harmful algal blooms 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. 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. 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 harmful algal blooms, hypoxic conditions, and

fish kills particularly under anaerobic conditions where orthophosphate, nitrates, and trace metals may enter the water. This occurs because in the absence of oxygen, chemical and biological processes in sediment change, leading to the release of these substances. These processes increase the bioavailability of nutrients and trace metals, exacerbating eutrophication and toxicity risks in the estuary. In addition, recently available heavy metal concentration data from SJBE sediments show decreases in concentrations of most metals, although both arsenic and chromium increased, and the composite sample from sediment above the clay interface at the San Antonio extension (near Condado) had higher concentrations of copper, mercury, nickel, and silver (Anamar Environmental Consulting, Inc., 2021). Addressing these contaminants requires targeted cleanup efforts to mitigate their impact on the estuary's ecosystems.

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).

Updating the land use map for the SJBE is a critical step in effectively managing the ecological health of the system. 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. 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, sediment dynamics, and forested lands in the SJBE watershed.

In addition, using and building upon existing models will help to inform decision-making related to sediment management. 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 and nutrients. The model uses the USACE Hydrologic Modeling Center's Hydrologic Modeling System (HEC-HMS), which simulates precipitation and runoff processes from watersheds such as those contained in the SJBE (Kamal et al., 2022). The Environmental Fluid Dynamics Code (EFDC)/ Three-Dimensional Hydrodynamic Eutrophication Model (HEM3D) coupled hydrodynamic and water quality models have also 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). Effective management of erosion and sediment transport is essential for maintaining the ecological function 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

MI-17 MINIMIZE SEDIMENT LOADING INTO THE SJBE ADAPTATION

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.	Improve information on sources and mass.	Assessed identified sediment sources and sedimentation rates.	Leads: 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 and increase sweeping of municipal streets.	Reduce sediment loads to SJBE.	Established a set of BMPs for erosion control and increased street sweeping.	Leads: DNER, Estuario, municipalities Implementing partners: Academia, scientific community	Pending	0-2 years	TBD	DNER, USEPA, municipalities
3. Implement regulations and establish guidelines to reduce sediment runoff during construction and agricultural activities.	Improve erosion control and enforcement at construction sites.	Ensured compliance with regulation and guidelines.	Leads: DNER, USEPA, PRDA, USDA Implementing partners: Academia, scientific community, Estuario	Pending	3-5 years	TBD	DNER, USEPA, PRDA, USDA

REGULATORY AND POLICY REQUIREMENTS

Modifications to local codes and ordinances to incorporate erosion control BMPs may be required.

MI-18 UPDATE THE PUERTO RICO LAND USE PLAN EVERY TEN YEARS.

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 stormwater management plan.	Identify discrepancies in data or outdated information or data gaps.	Identified key areas where data gaps are present and are a priority to address.	Leads: DNER, Estuario Implementing partners: municipalities, academia, scientific community	Pending	0-2 years	TBD	USEPA, DNER
2. Share findings with the updated Land Use Plan and gather feedback from stakeholders and community members.	Update land use plan created through collaboration and partnership with key stakeholders.	Distributed the updated Land Use Plan to key stakeholders.	Leads: DNER, Estuario Implementing partners: municipalities, academia, scientific community	Pending	3-5 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* MI-19 EVALUATE TECHNOLOGIES AND APPROACHES FOR THE BENEFICIAL USE AND DISPOSAL OF DREDGED MATERIAL IN THE SJBE.*

ACTIVITIES

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Identify sediment locations with high nutrient concentrations and/or contamination in the SJBE system and determine techniques and technologies for each priority location.	Improve application of dredging, capping, and beneficial use techniques.	Completed a feasibility study for priority locations.	Leads: USACE, DNER, Estuario Implementing partners: municipalities, academia, scientific community	Ongoing	3-5 years	TBD	USEPA, DNER, USACE, Water Resources Development Act (WRDA)
2. Implement a project using selected technologies and techniques to address priority sediment locations.	Improve sediment health in the SJBE system.	Implemented sediment remediation projects at priority locations.	Leads: 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, capping, and beneficial use strategies to improve sediment in the SJBE.

**NEW* MI-20 NUTRIENT AND SEDIMENT MODELING IN THE SJBE WATERSHED. ADAPTATION*

ACTIVITIES

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Review and analyze existing nutrient and sediment modeling data and gather data to fill in gaps.	Collect nutrient and sediment load data from the SJBE study area.	Identified data gaps and filled those gaps to improve analyses.	Lead: DNER Implementing partners: municipalities, academia, scientific community, Estuario	Pending	0-2 years	TBD	USEPA, DNER, USACE
2. Update models based on collected data and make results publicly available for decision-making.	Improve and update nutrient and sediment load models.	Achieved a correlation between modeled and observed nutrient and sediment loads and made results available.	Lead: DNER, Estuario Implementing partners: municipalities, academia, scientific community	Pending	3-5 years	TBD	USEPA, DNER, USACE
3. Engage with stakeholders on management strategies based on updated model findings.	Stakeholders identified and discussion to propose new strategies.	Conducted stakeholder and community engagement events.	Lead: DNER Implementing partners: municipalities, academia, scientific community, Estuario	Pending	0-2 years	TBD	USEPA, DNER, USACE

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/>.

Ramírez, A., R. De Jesús Crespo, D. M. Martín Cardona, N. Martínez Rivera, and S. Burgos Caraballo. 2009. Urban streams in Puerto Rico: what can we learn from the tropics? *Journal of the North American Benthological Society* 28:1070-1079. DOI: 1010.1899/1008-1165.1071.

Ramírez, A., A. Engman, K. G. Rosas, O. Perez Reyes, and D. M. Martín Cardona. 2012. Urban impacts on tropical island streams: some key aspects influencing ecosystem response. *Urban Ecosystems* 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. Hyd. and Hydromechanics*. 70. Vol.3, pp 341-356.

Torres Barreto, B. 2019. Green Infrastructure, A Commitment to Resilience. *El Nuevo Día*. September 15, 2019.

USACE. 2016. Final Feasibility Report: Caño Martín Peña Ecosystem Restoration Project. February 2016.

USDA. 2017. Soil Erosion and Sediment Control. Natural Resources Conservation Service. <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/main/national/technical/ecoscience/soil/erosion/>.

DRAINAGE AND WATER EXCHANGE INFRASTRUCTURE

BASELINE

The SJBE system has undergone significant anthropogenic modifications, including dredging, filling, and sedimentation. Until recently, 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 as 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 (ENLACE and 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 (ENLACE and 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 (ENLACE and 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. It seeks to restore the hydraulic connection between the eastern and western portions of the SJEB by dredging and channelizing approximately 2.2 miles of the Caño Martín Peña. The CMP-ERP will improve dissolved oxygen levels, increase biodiversity by restoring fish habitat and benthic conditions, and enhance the functional value of mangrove habitat within the SJBE. The CMP-ERP is authorized by Section 5127 of WRDA 2007, as amended. The lead federal agency is USACE, and the non-federal cosponsors are ENLACE and DNER. In May 2016, the Assistant Secretary of the Army for Civil Works approved the Feasibility Study and Environmental Impact Statement, developed by ENLACE and USACE, deeming the CMP-ERP technically feasible, cost-

effective, environmentally justified, in accordance with environmental statutes, and in the public interest. In January 2022, after years of organized community advocacy, the federal government allocated \$163.8 million to begin the construction phase through the Bipartisan Infrastructure Act of 2021. Following the allocation of federal funds, in July 2022, ENLACE, USACE, and DNER executed the Project Partnership Agreement, initiating the construction phase. The progress made on this project have been led by ENLACE, Project, Group of Eight Communities Surrounding the Caño Martín Peña, Inc., and Caño Martín Peña Land Trust.

USACE contracts for restoration of the eastern Caño Martín Peña 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. 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 is estimated for completion in October 2026. Contract 3 will be awarded in three phases, with awards anticipated in September 2025 and January 2028. 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 (USACE, 2024).

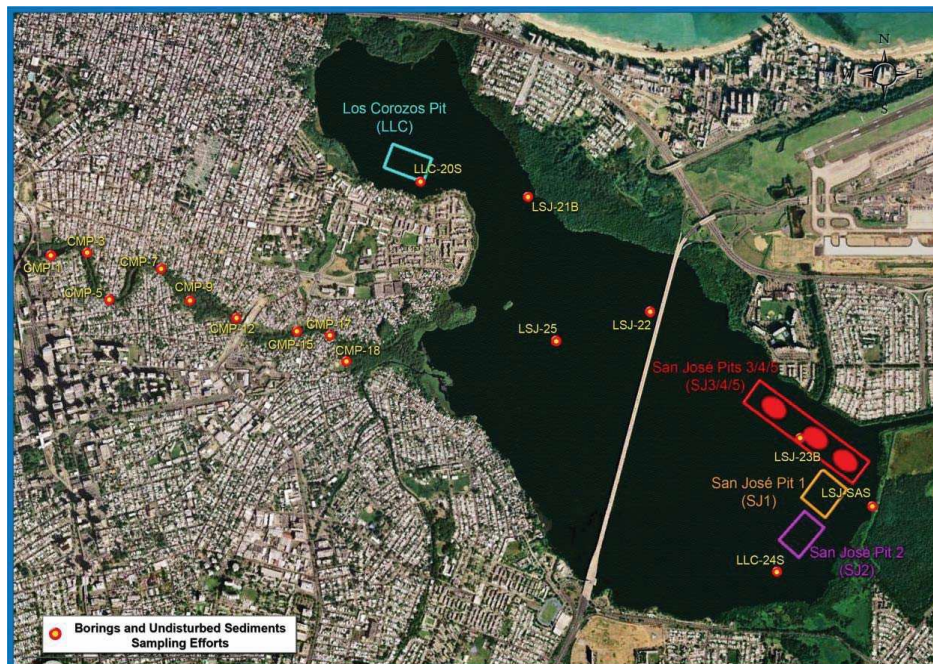


Figure 2. Artificial Pits at the San José Lagoon (ENLACE and USACE, 2016)

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 SJBE restrictions to flow, residence times, and circulation patterns.

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* MI-21 CONDUCT A COMPREHENSIVE HYDROLOGIC ASSESSMENT OF THE ESTUARINE SYSTEM TO PRIORITIZE WATER EXCHANGE RESTORATION EFFORTS. ADAPTATION*

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.	Completed a comprehensive bathymetric survey map of SJBE.	Lead: USACE Implementing partners: U.S. Geological Survey (USGS), National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Proyecto ENLACE, DNER	Ongoing	2 years	TBD	WRDA, NOAA, USACE
2. Identify restrictions to tidal and surface current flows; quantify water residence time dynamics, including impacts from sea level rise and extreme rainfall events; and model circulation dynamics.	Complete models to identify flow restrictions, residence times, and circulation patterns.	Identified restrictions, residence times, and circulation patterns.	Lead: USACE Implementing partners: USGS, NOAA, Proyecto ENLACE, DNER	Pending	5+ years	TBD	WRDA, USACE

3. Publish a comprehensive report of hydrologic conditions that includes challenges and opportunities.	Compile bathymetric data; models; and summary of data gaps, flow restrictions, residence times, circulation patterns, challenges, and opportunities.	Publish report.	Lead: Estuario Implementing partners: USGS, NOAA, Proyecto ENLACE, DNER	Pending	5+ years	TBD	WRDA, USACE
--	--	-----------------	--	---------	----------	-----	-------------

REGULATORY AND POLICY REQUIREMENTS

None.

MI-22 IMPROVE FLOW IN CAÑO MARTÍN PEÑA AND RELOCATE FAMILIES LIVING ADJACENT TO THE CAÑO MARTÍN PEÑA.

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.	Excavated 25,000 cubic yards of material from the western end of the channel, constructed 115-foot-wide by 6.5-foot-deep channel located at western bridges, installed riprap at the channel bottom and the side slopes, and installed steel sheet pile walls at the eastern end.	Leads: USACE, Proyecto ENLACE Implementing partner: DNER	On Track	0-2 years	TBD	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.	Dredged 1.8 miles of channel, dredged 2 miles of access channel from staging area to eastern end of Caño Martín Peña, stabilized bank including sheet pile, added Barbosa Bridge scour protection, restored 35 acres of mangrove/wetland for entire channel, and added recreation features.	Leads: USACE, Proyecto ENLACE Implementing partner: DNER	On Track	5+ years	TBD	WRDA
3. Establish a plan and schedule for maintenance dredging.	Maintain improved flows in Caño Martín Peña over time.	Continued maintenance, as needed, to maintain flows in Caño Martín Peña.	Leads: USACE, Proyecto ENLACE Implementing partner: DNER	Pending	5+ years	TBD	WRDA
4. Conduct an assessment and mapping initiative of households to identify relocation needs and priorities.	Develop a 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

5. Develop a community engagement and communication plan to inform residents about options, timelines, and available support services for relocation. Track relocation progress and address any challenges or concerns.	Complete community engagement and communication plan with outreach strategies and materials.	Coordinated with residents in target communities.	Lead: Proyecto ENLACE Implementing partners: DNER, municipalities, community groups, Estuario	Pending	3-5 years	TBD	USEPA, DNER, municipalities
---	--	---	--	---------	-----------	-----	-----------------------------

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. Policy may be needed to help with relocation assistance for people who need to move.

MI-23 FILL ARTIFICIAL DEPRESSIONS AT THE SUAREZ CANAL AND AT LOS COROZOS, SAN JOSÉ, AND LA TORRECILLA LAGOONS.

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.	Achieved a maximum canal depth of -14 feet.	Lead: USACE Implementing partner: DNER	Delayed	5+ years	TBD	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.	Achieved a maximum lagoon depth of -6 feet.	Lead: USACE Implementing partner: DNER	Delayed	5+ years	TBD	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.	Achieved a maximum depth of -16 feet.	Leads: USACE, Proyecto ENLACE Implementing partner: DNER	Pending	5+ years	TBD	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.	Achieved a maximum depth of 14 feet outside of the navigation channels.	Lead: USACE Implementing partner: DNER	Delayed	5+ years	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.

MI-24 IMPROVE THE FLOW OF WATER BETWEEN LA ESPERANZA PENINSULA COVE AND SAN JUAN BAY.

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.	Improve flushing and tidal exchange between the La Esperanza Peninsula Cove and San Juan Bay.	Increased in number, width, and/or depth of openings.	Lead: USACE Implementing partner: DNER	Stalled	5+ years	TBD	WRDA, USACE
2. Conduct monitoring to evaluate project effectiveness and nearby habitat.	Gather information on project benefits and minimize impacts.	Monitored to evaluate hydrological improvements.	Lead: USACE Implementing partner: DNER	Pending	5+ years	TBD	USACE, DNER

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.

MI-25 ASSESS THE FEASIBILITY OF OPENING THE CAUSEWAY TO ISLA DE CABRAS TO INCREASE WATER FLOW.

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 and select the location and size of the new opening.	Conduct needs assessment to determine where flow levels need to be restored and their priority status.	Completed the needs assessment identified a location for a new opening.	Lead: DNER Implementing partners: USACE, Estuario	Pending	2-5 years	TBD	DNER, USEPA, USACE

2. Begin construction once necessary permits have been granted.	Develop construction plan and apply for necessary permits.	Finalize permits finalized and complete construction.	Lead: DNER Implementing partners: USACE, PRPA	Pending	5+ years	TBD	DNER, USPEA, State Revolving Fund, USACE
---	--	---	--	---------	----------	-----	--

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.

ENLACE and USACE. 2016. Final Feasibility Report: Caño Martín Peña Ecosystem Restoration Project. February 2016.

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. 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 as 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 and 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.

Under the Puerto Rico Port 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 Safety, Protection, and Vigilance 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 such a plan by the Puerto Rico Ports Authority. 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 (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. 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.

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.

In addition to maritime activities, airports within the SJBE watershed contribute to water quality 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. Airports are complex operational environments where pollutants such as hydrocarbons, heavy metals, de-icing chemicals, and other contaminants can enter stormwater and ultimately discharge into nearby waterbodies 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.

There is a growing recognition of the need to work more closely ports, vessels, and airport authorities as key stakeholders in the estuary’s watershed to reduce pollutant discharges and enhance compliance with federal water quality regulations.

OBJECTIVES

- Reduce spills and discharges from ports, marinas, fishing villages, and vessels infrastructure.

ACTIONS

**NEW* MI-26 DEVELOP AND IMPLEMENT AN INFRASTRUCTURE PLAN TO ENSURE ALL SEAPORTS SUPPORT WATER RESTORATION AND CONSERVATION EFFORTS.*

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 and conduct a needs analysis.	Conduct an inspection of all port stormwater, sanitary sewer, shoreline protection, and wharf structures and identify critical infrastructure requiring maintenance or replacement.	Completed inspections and evaluation and improved the performance or longevity of infrastructure.	Lead: Puerto Rico Ports Authority Implementing partners: Marinas, boating groups and organizations	Pending	5+ years	TBD	WRDA
2. Review and update BMPs in the Stormwater Pollution Prevention Plan (SWPPP).	Ensure all stormwater infrastructure is inspected, maintained, and in compliance to ensure proper flood protection and water treatment.	Completed inspections and maintenance per the SWPPP schedule.	Lead: Puerto Rico Ports Authority Implementing partners: DNER, USEPA	Pending	0-2 years	TBD	Puerto Rico Ports Authority
3. Develop the Safety, Protection, and Vigilance Plan for compliance with the Clean Waters Act.	Complete plan.	Developed plan.	Lead: Puerto Rico Ports Authority Implementing partner: , DNER, U.S. Coast Guard, USEPA	Pending	0-2 years	TBD	WRDA

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.

MI-27 CREATE A PORT ADVISORY COUNCIL TO MONITOR DOCKS AND OTHER WATERCRAFT FACILITIES WITHIN THE SJBE SYSTEM AND ENSURE REGULATORY AND PERMIT COMPLIANCE.

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.	Develop and enforce stormwater management systems that prevent runoff pollution, improve infrastructure to prevent illegal discharges, implement training programs, and develop emergency preparedness plans for oil/diesel spills, vessel evacuation under extreme events.	Created Advisory Council to develop necessary measures and plans.	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.	Took enforcement action.	Lead: DNER Implementing partners: Municipalities, marinas, boating groups and organizations	Pending	0-2 years	TBD	DNER
3. Recommend the development of public docks and other facilities in areas where the natural resources will not be adversely impacted.	Improve siting of facilities to serve the community while protecting natural resources.	Recommended facility locations.	Lead: DNER Implementing partners: USEPA, USFWS) municipalities, marinas, boating groups and organizations	Pending	0-2 years	TBD	DNER

REGULATORY AND POLICY REQUIREMENTS

To be determined based on the findings of the task force.

**NEW* MI-28 DEVELOP GUIDELINES FOR MARINA CONSTRUCTION AND RETROFITS TO INCORPORATE SUSTAINABLE DESIGN FEATURES.*

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.	Compile database of practices for more sustainable marina development.	Compiled database.	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.	Improve sustainability of infrastructure and protection of natural areas.	Adopted regulation.	Lead: DNER Implementing partners: USFWS, marinas, boating organizations	Pending	3-5 years	TBD	DNER, USFWS, municipalities, marinas
3. Construct and deploy artificial reef habitats under marinas and harbor facilities.	Increase in reef habitat to increase benthic resources and assist in sustaining fisheries resources.	Created reefs.	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.

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>.

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

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. 14150., 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, rain gardens, flow through planters, and permeable surfaces to reduce impacts from stormwater runoff (DTOP, 2018).

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.

Communities within the SJBE system have also 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.

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:

- B.1 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 by 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 building on these efforts and 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* MI-29 DEVELOP A COMPREHENSIVE SYSTEM MAP OF FEDERAL, STATE, AND LOCAL ROADS.*

ACTIVITIES

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Compile stormwater infrastructure information.	Gather stormwater infrastructure information for federal, state, and local roads, as well as port and airport facilities.	Gathered information on Infrastructure locations.	Lead: Estuario Implementing partners: Puerto Rico Ports Authority, DNER, municipalities	Ongoing	0-2 years	TBD	DNER
2. Prepare a GIS database and map of stormwater infrastructure in the SJBE watershed.	Integrate federal, state, and local infrastructure into a single database.	Created GIS database and map that is shared to Estuario’s website.	Lead: Estuario Implementing partners: Puerto Rico Ports Authority, DNER, municipalities	Ongoing	0-2 years	TBD	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* MI-30 ENSURE REPAVING EFFORTS MAINTAIN PROPER SLOPES AND GRADING TO EFFECTIVELY MANAGE STORMWATER AND PREVENT BLOCKAGE OF SEWER INLETS. ADAPTATION*

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.	Lead: DNER Implementing partners: municipalities	Pending	0-2 years	TBD	DNER
2. Establish a repavement inspection task force for inspections and implement noted fixes to ensure proper grading.	Created a task force for inspections to ensure roads are properly graded when repaved to improve water quality.	Created the task force and ensured proper road grading.	Lead: Estuario, DNER Implementing partners: municipalities	Pending	3-5 years	TBD	DNER
3. Prepare a guidance document for approaches to regrading and BMPs to protect water quality.	Prepare a guidance document for pavement projects.	Implemented proper grading and treatment of roads.	Leads: DNER Implementing partners: municipalities	Pending	0-2 years	TBD	DNER

REGULATORY AND POLICY REQUIREMENTS

Efforts to maintain proper drainage of sewer inlets should follow local and federal regulations.

**NEW* MI-31 COLLABORATE WITH MUNICIPALITIES AND PLANNERS TO INCLUDE ALTERNATIVE TRANSPORTATION INFRASTRUCTURE, SUCH AS BICYCLE LANES, SIDEWALKS, AND PUBLIC TRANSIT ACCESS POINTS.*

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.	Developed guidelines.	Lead: DTOPT Implementing partners: Metropolitan Bus Authority, Transit Safety Commission, municipalities	Pending	0-2 years	TBD	DTOP, Metropolitan Bus Authority, Transit Safety Commission, municipalities

<p>2. Advocate for the inclusion of alternative transportation infrastructure in local zoning codes and development regulations.</p>	<p>Remove barriers to including alternative transportation in development projects.</p>	<p>Removed barriers.</p>	<p>Lead: DTOP Implementing partners: Metropolitan Bus Authority, Transit Safety Commission, municipalities, local advocacy groups</p>	<p>Pending</p>	<p>0-2 years</p>	<p>TBD</p>	<p>DTOP, Metropolitan Bus Authority, Transit Safety Commission, municipalities</p>
<p>3. Implement alternative transportation projects in key areas of the SJBE watershed.</p>	<p>Improve access throughout the watershed.</p>	<p>Completed alternative transportation projects.</p>	<p>Lead: DTOP Implementing partners: Metropolitan Bus Authority, municipalities</p>	<p>Pending</p>	<p>3-5 years</p>	<p>TBD</p>	<p>DTOP, Metropolitan Bus Authority, Transit Safety Commission, municipalities</p>

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 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. This project collects 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 SJBE 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 with those categorized as impaired and critical indicating an ongoing major sanitary discharge (Martínez Rodríguez, 2024). 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 3). 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).



Figure 3. Example of Weekly Bacteria Monitoring Results

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).

The monitoring program should be expanded to gather information on contaminants of emerging concern, which include pharmaceuticals, personal care products, and hormones that have been detected at increasing frequencies (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 SJB to collect data on the presence and concentration of contaminants of emerging concern. This systematic approach will help identify hotspots and trends, providing crucial information for effective management. In addition, research should focus on understanding the sources and pathways of contaminants of emerging concern entering the estuary. Investigating the roles of wastewater treatment

facilities, stormwater runoff, and illicit discharges is vital to provide information to advocate for advanced treatment technologies that effectively reduce these contaminants.

In addition, harmful algal blooms are becoming an increasing concern and should be further evaluated. Harmful algal blooms 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 harmful algal blooms 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 harmful algal blooms are likely to be more extensive in the estuary system within 15–30 years (Jacobs and Pérez, 2013). Reducing the occurrences of harmful algal blooms requires that protective measures and an early detection system are developed. To successfully model and predict harmful algal blooms, 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.

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.

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

MI-32 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. ADAPTATION

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 locations and frequency.	Increase the number of volunteers and water quality data collected.	Increased 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 and continue to publish data on the Estuario website.	Readily-accessible water quality data for public use.	Dashboard to increase data visibility.	Lead: Estuario	Ongoing	0-2 years	TBD	USEPA
3. 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
4. Continue leading the Collaborative Water Quality Monitoring Network.	Continue data from the Collaborative Water Quality Monitoring Network.	Led the Collaborative Water Quality Monitoring Network.	Lead: Estuario	Ongoing	0-2 years	TBD	USEPA

REGULATORY AND POLICY REQUIREMENTS

None.

**NEW* MI-33 ESTABLISH A MONITORING AND RESEARCH PROGRAM ABOUT THE OCCURRENCE AND POTENTIAL RISK OF CONTAMINANTS OF EMERGING CONCERN IN THE SJBE SYSTEM. ADAPTATION*

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 contaminants of emerging concern concentrations, sources, and trends over time.	Collect comprehensive data on contaminants of emerging concern concentrations and identify trends.	Annual report summarizing contaminants of emerging concern data with recommendations on management actions.	Leads: DNER USEPA Implementing partners: PRASA, private utilities, academia, Estuario	Pending	3-5 years	TBD	DNER, USEPA
2. Conduct data analysis to assess ecological risks from contaminants of emerging concern and develop policy.	Develop informed policies and regulations addressing contaminants of emerging concern management.	Created risk assessments of key species in the SJBE.	Lead: DNER Implementing partners: USEPA, PRASA, private utilities, academia	Pending	3-5 years	TBD	DNER, USEPA

REGULATORY AND POLICY REQUIREMENTS

Update of local policies and regulations to recognize the dangers of contaminants of emerging concern in the system and support their regulation in entering the watershed.

**NEW* MI-34 DEVELOP A PREDICTIVE PLATFORM FOR THE EARLY DETECTION OF HARMFUL ALGAL BLOOMS. ADAPTATION*

ACTIVITIES

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Identify gaps in water quality, hydrological, and weather data and opportunities to fill those gaps to gather the information needed to better predict harmful algal blooms.	Fill gaps in monitoring to better predict harmful algal blooms.	Filled harmful algal blooms data gaps.	Leads: USEPA, DNER Implementing partners: municipalities, academia, research organizations	Pending	0-2 years	TBD	USEPA, DNER
2. Determine an appropriate harmful algal bloom modeling platform, including evaluation of existing tools, and develop the tool for coordination and collaboration to reduce harmful algal blooms and provide rapid response.	Tool to better manage watershed and estuary conditions to reduce harmful algal blooms and to help with response when harmful algal blooms occur.	Reduced harmful algal blooms through better management	Leads: USEPA, DNER Implementing partners: municipalities, academia, research organizations, Estuario	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/>.

Jacobs, K.R. and Pérez, A.I. 2013. Assessing the San Juan Bay Estuary Program’s Vulnerabilities to Climate Change. Prepared for Climate Ready Estuaries, USEPA, and Estuario.

Lugo, A.E. and J.F. Bauzá Ortega. 2024. San Juan Bay Estuary: Research History and Opportunities. EPA/600/R-23/308.

Martínez Rodríguez, G.A. 2024. Implementation of a Water Quality Restoration Strategy at the San Juan Bay Estuary and the Río Grande De Loíza (Below Dam) Estuary Contributing Zone (Phase II), Progress Report Encompassing Period from November 1, 2019, to September 30th, 2024. Prepared for Corporation for the Conservation of the San Juan Bay Estuary *SJBE Contract Number C-72-250-03*.

Otero, E., Meléndez, A. 2011. Estuarine Environmental Indicators for the San Juan Bay Estuary: Assessment of Sediment and Fish Tissue Contaminants. https://estuario.org/wp-content/uploads/2021/02/SJBE_Contamination_Assessment_Report_2011-compressed.pdf.

Rodríguez-Sierra, C.J., Mansilla-Rivera, I., and Bauzá-Ortega, J.F. 2025. Passive sampling of contaminants of 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 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. Additional sewage discharges, septic systems, and stormwater sources are located in the expanded study and may contribute pollutant loads to the estuary. In addition, water is brought into the estuary watershed through outside sources. Examples include a super aqueduct that carries about 70 million gallons per day of freshwater to San Juan from outside the municipality, and the Sergio Cuevas Water Filtration Plant that pulls water from the río Grande de Loíza at the dam in Barrio Carraízo of Trujillo Alto (USEPA, 2019). 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 4 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 4. 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* MI-35 DETERMINE THE AREAS OF HIGHEST SEWAGE DISCHARGE IN THE EXPANDED STUDY AREA*

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 and evaluating compliance with NPDES permits in the expanded study area.	Improve information on sewage discharge locations and permit compliance.	Developed protocol for identifying sewage discharge locations and findings from the compliance analysis.	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.	Evaluated 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 for posting on Estuario's public dashboard.	Improve information on sewage discharge locations.	Prepared 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.	Developed a 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

REGULATORY AND POLICY REQUIREMENTS

None for the study. The results will help inform regulatory and policy needs in the future.

**NEW* MI-36 EVALUATE SEPTIC SYSTEM AND GROUNDWATER SOURCES IN THE EXPANDED STUDY AREA*

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.	Improve information on septic system and groundwater contamination locations.	Identified 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 maps showing areas with the greatest contribution of pollutants from septic systems and groundwater sources in the expanded study area.	Improve information on septic system and groundwater sources with the highest pollutant contributions.	Developed 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
3. 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.	Completed a plan with hotspot locations and potential projects.	Lead: DNER Implementing partners: municipalities, utilities	Pending	5+ years	TBD	USEPA, DNER, State Revolving Fund, municipalities

REGULATORY AND POLICY REQUIREMENTS

None for the study. The results will help inform regulatory and policy needs in the future.

**NEW* MI-37 INVESTIGATE URBAN AND AGRICULTURAL STORMWATER SOURCES IN THE EXPANDED STUDY AREA*

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.	Completed a 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.	Improve information on areas with the greatest pollutant concentrations from stormwater.	Developed 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.	Reduce pollutant and volume loading from stormwater sources in the expanded study area.	Prepared a 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

REGULATORY AND POLICY REQUIREMENTS

None for the study. The results will help inform regulatory and policy needs in the future.

**NEW* MI-38 ESTIMATE INPUTS FROM WATER SOURCES INTO THE EXPANDED STUDY AREA*

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.	Completed a 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.	Reduce pollutant concentrations entering the expanded study area.	Reduced 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.

Villanueva, E., L. J. Rivera Herrera, S. Rivera Colón, M. Tacher Roffe, C. Guerrero Pérez, and C. Ortiz Gómez. 2000. Comprehensive conservation and management plan for the San Juan Bay estuary. Programa del Estuario de la Bahía de San Juan, San Juan, PR.