

Asegurar ecosistemas funcionales

Índice

- Funciones, servicios y condiciones de referencia de los ecosistemas2
 - Trasfondo2
 - Objetivos.....5
 - Acciones.....5
 - Referencias.....9
- Manejo de ecosistemas basado en la resiliencia 11
 - Trasfondo 11
 - Objetivos..... 13
 - Acciones..... 13
 - Referencias..... 27
- Política pública para el manejo de ecosistemas basado en la resiliencia 29
 - Trasfondo 29
 - Objetivos..... 30
 - Acciones..... 31
 - Referencias..... 34

Funciones, servicios y condiciones de referencia de los ecosistemas

Trasfondo

El Estuario de la Bahía de San Juan (EBSJ) alberga una alta biodiversidad, con más de 160 especies de aves, 300 especies de plantas, 87 especies de peces y 20 especies de anfibios y reptiles. Al menos 16 de estas especies se consideran en peligro de extinción, amenazadas, endémicas de Puerto Rico o raras (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos [USEPA], 2025). Los ecosistemas del estuario presentan múltiples ecotonos o zonas de transición con una mezcla compleja de agua salada y agua dulce que enriquece su biodiversidad. La combinación única de estos dos ambientes ofrece una amplia gama de condiciones para que los organismos busquen oportunidades de superar a otros a medida que las mareas suben y bajan, las lluvias llegan y cesan, y las tormentas provocan cambios rápidos en este entorno complejo. Normalmente, este ambiente dinámico crea una diversidad sostenible de especies; sin embargo, cuando eventos extremos y contaminantes alteran el ecosistema, bacterias infecciosas, floraciones de algas nocivas y especies introducidas pueden volverse oportunistas y dominar el ambiente. El desarrollo humano en las áreas cuenca arriba y la disposición inadecuada de residuos han alterado drásticamente el funcionamiento del ecosistema, los servicios ecológicos y las condiciones en el EBSJ.

Las necesidades de infraestructura se detallan en el Plan de Acción para Mantener y Mejorar la Infraestructura Gris y Verde, una infraestructura deteriorada y envejecida que afecta la calidad del agua y de los sedimentos del fondo. En el plan se identifican las acciones necesarias para restaurar las condiciones del EBSJ. Aunque los sistemas de alcantarillado, los sistemas de aguas pluviales y la infraestructura de puertos y muelles son visibles y más fácilmente reconocidos por la mayoría de las personas, el funcionamiento del ecosistema y la biodiversidad son menos tangibles. Además, la complejidad y el efecto de los servicios ecológicos son difíciles de cuantificar. Los servicios ecológicos son los beneficios que los seres humanos derivan de los ecosistemas, así como los beneficios que los organismos dentro del ecosistema pueden aportar para mejorar la calidad ambiental. Estos incluyen beneficios directos, como alimentos y bienes, pero también espacios verdes y mejoras en la calidad del agua y del aire. En el EBSJ, estos servicios ecológicos incluyen la pesca, las actividades recreativas, la captura de carbono y la capacidad de los sedimentos y organismos bentónicos para retener nutrientes y mejorar la calidad del agua. A medida que disminuye la biodiversidad del EBSJ, también lo hacen los servicios ecológicos.

El Informe de Caracterización de la Comunidad Biológica y del Hábitat de la *Evaluación Ecológica del Programa del Estuario de la Bahía de San Juan* (Departamento de Recursos Naturales y Ambientales [DRNA], 1997) proporcionó una evaluación completa de la comunidad biológica en 1995, con hábitats divididos en diez tipos. Se evaluó una perspectiva histórica del estuario para establecer un “período de referencia” como base ecológica. Aunque los cambios en la ecología del estuario datan del siglo XVIII, las alteraciones significativas al sistema no ocurrieron hasta mediados del siglo XIX y principios del siglo XX.

En 2001 y 2011 se realizaron inventarios de los bosques urbanos en el EBSJ, cuyos resultados se informaron en el Inventario de Bosques Urbanos de la Bahía de San Juan (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos [USDA], 2014). Este es un inventario integral de las especies de plantas encontradas en la cuenca hidrográfica del EBSJ, la población y cobertura de esas especies, y los cambios ocurridos entre 2001 y 2011. Este inventario documentó también el uso del suelo durante el mismo período. El estudio identificó un aumento en el uso de suelo comercial/industrial/transporte, y de humedales/agua/agricultura durante el período de diez años. Asimismo, disminuyó el uso de los suelos de instituciones/parques, bosque de

manglar, bosque húmedo y terrenos baldíos, lo que sugiere que los terrenos urbanizados habían sustituido el uso de suelo natural y verde entre 2001 y 2011. Dado este cambio en el uso del suelo, se anticiparía un cambio similar en la cobertura y población de la vegetación natural; sin embargo, este no pareció ser el caso. Hubo un aumento significativo en la cobertura de árboles y arbustos en cada categoría de uso del suelo y casi el doble del carbono almacenado, lo que sugiere un cambio general hacia un uso del suelo más verde o hacia especies de plantas más maduras durante el período de diez años. El estudio identificó también que el número y la riqueza de especies aumentaron en todas las categorías de uso del suelo, excepto en instituciones/parques. Este aumento en la cobertura vegetal proporciona un beneficio significativo para los servicios ecológicos, debido a la captura de carbono, los espacios verdes, las oportunidades recreativas y el refugio ecológico (USDA, 2014).

Durante los pasados 20 años, se han realizado estudios de pastos marinos y sistemas bentónicos para áreas y proyectos específicos. Estos estudios incluyen la Laguna del Condado (Tetra Tech, 2011), pero no se ha compilado ni comparado un inventario integral a lo largo del tiempo. Estos datos pueden informar el manejo y las tendencias de otras especies, como el manatí antillano. El manatí antillano fue en el pasado una subespecie del manatí de las Indias Occidentales y ahora es una especie separada (Servicio de Pesca y Vida Silvestre de los Estados Unidos [USFWS], 2024). En enero de 2025, el USFWS propuso retirar al manatí de las Indias Occidentales de la lista de especies amenazadas y añadir en esa lista al manatí de Florida (la otra subespecie del manatí de las Indias Occidentales), y declarar al manatí antillano en peligro de extinción. La calidad del agua, la destrucción del hábitat, el aumento de la actividad de tormentas de mayor intensidad y el tráfico marítimo han incrementado la presión sobre la población de esta especie (USFWS, 2024).

Mientras, la contaminación por ruido es otra posible amenaza para los manatíes y otras especies en el EBSJ (Servicio Geológico de los Estados Unidos [USGS], 2011). El daño a delfines y ballenas causados por el sonar y los ruidos fuertes está bien documentado, pero los efectos sobre otros organismos en el EBSJ no se comprenden bien. Un estudio reciente en la Reserva Nacional de Investigación Estuarina de Bahía de Jobos encontró que los manglares pueden ser una barrera natural efectiva contra el ruido antropogénico (Castro-Rivera, 2024). Dado que la contaminación acústica urbana es un problema creciente, los manglares pueden ofrecer una valiosa solución de mitigación basada en la naturaleza.

También la contaminación lumínica urbana es un problema creciente que afecta la anidación de tortugas marinas y limita la visibilidad natural del cielo nocturno. Tanto la luz directa en las áreas de anidación como el resplandor del cielo y el deslumbramiento pueden afectar a las tortugas marinas. Reducir las fuentes de luz, asegurarse de apagar las luces cuando no sean necesarias, reducir la cantidad de área iluminada y adaptar las fuentes de luz existentes con corte total y montarlas lo más cerca posible del suelo puede reducir los problemas para las tortugas marinas. Además, estas medidas reducirán la demanda de energía eléctrica y mejorarán la visibilidad del cielo nocturno natural. Cuando las fuentes de luz están en línea directa con las zonas de anidación de las tortugas marinas, se debe usar iluminación “amigable con las tortugas”.

En tanto, los sistemas bentónicos del EBSJ están influenciados por la calidad del agua y de los sedimentos, que se altera por las actividades antropogénicas en área metropolitana de San Juan, densamente poblada. La calidad de los sedimentos está determinada por la circulación dinámica causada por dragados y rellenos, la erosión y sedimentación desde las zonas cuenca arriba, y la resuspensión de sedimentos del fondo (Estuario, 2000).

Históricamente, se ha alterado la batimetría en sectores de las lagunas para mejorar la navegación. Estas modificaciones han tenido un efecto significativo en los sistemas ecológicos de las lagunas y canales interconectados que componen gran parte del sistema acuático. Esto ha provocado cambios en la renovación del agua por el influjo de las mareas, debido al aumento de la profundidad como resultado del dragado. Además, las alteraciones hidrológicas en la cuenca, como la proliferación de superficies impermeables, la canalización de quebradas y las modificaciones en la topografía, han aumentado la descarga de aguas pluviales hacia los cuerpos de agua del EBSJ. Este aumento de la escorrentía urbana transporta mayores concentraciones de contaminantes preocupantes que afectan directamente los sistemas bentónicos (Lugo and Bauzá-Ortega, 2024). La figura a continuación muestra los flujos de agua en condiciones de clima seco en el EBSJ.

No todos los sistemas bentónicos se afectan por igual por los cambios ambientales. Ramírez et al. (2012) teorizó que la alta proporción de peces diádmomos, que tienen la capacidad de migrar entre el océano y el agua dulce, pueden colonizar continuamente corrientes urbanas y mantener sus poblaciones si su entorno marino asociado no está severamente degradado (Ramírez, 2012).

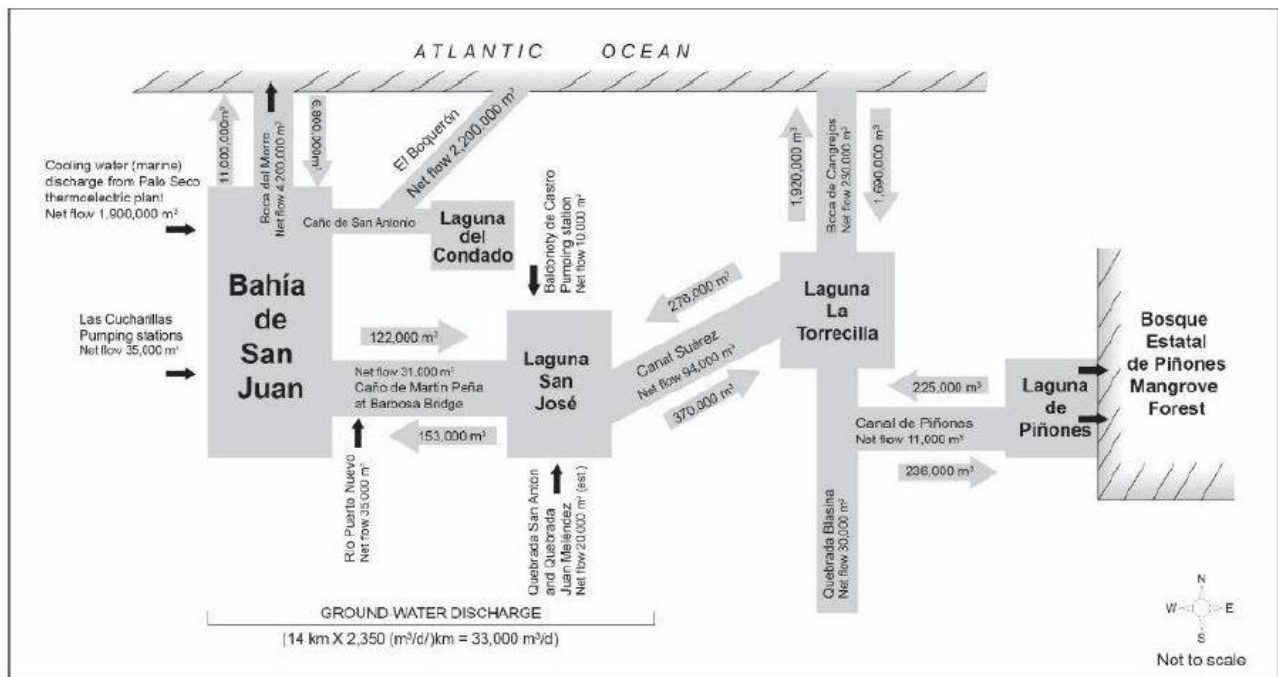


Figure 25. Average daily water flows for dry weather conditions in the San Juan Bay Estuary (Webb and Gómez Gómez 1998). This is a more comprehensive version of Figure 17. Reversing tidal flows dominate unidirectional flow. Flow from río Grande de Loíza into the mangroves is not shown.

De: Lugo y Bauzá-Ortega, 2024

Se estima que las actividades antropogénicas, como las descargas de los sistemas de tratamiento de aguas residuales, tienen un rendimiento combinado cuatro veces mayor que el de otras cuencas urbanas y agro-rurales en Puerto Rico (Ortiz-Zayas et al., 2006). Las comunidades bentónicas en el fondo de la laguna se vieron afectadas negativamente por este aumento de la escorrentía urbana con altos niveles de nutrientes y por las descargas de los sistemas de tratamiento de aguas residuales, lo que sobrepasó la capacidad biótica

para procesar los nutrientes, conduciendo a floraciones de algas que agravaron aún más el estrés sobre las comunidades bentónicas (Ortiz-Zayas et al., 2006).

Objetivos

- Comprender a fondo los ecosistemas noveles o emergentes y sus servicios ecosistémicos.
- Eliminar la contaminación lumínica en el sistema estuarino, particularmente a lo largo de las costas.
- Determinar cómo la contaminación acústica puede afectar a los organismos estuarinos.

Acciones

***NUEVO* FE-01 Completar un inventario de biodiversidad (flora y fauna) de los sistemas ecológicos.**

Actividades

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Continuar actualizando y mejorando el inventario de especies del Estuario.	Actualizar las tablas y el informe Lista de la flora y fauna del sistema del Estuario de la Bahía de San Juan (diciembre de 1996).	Inventario de especies actualizado.	Líder: Estuario Socios implementadores: Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (USACE), Servicio Nacional de Pesquerías Marinas (NMFS), USFWS, DRNA, municipios, Fideicomiso de Conservación de Puerto Rico y grupos privados de conservación	En curso	0-2 años	TBD	DRNA, USEPA
2. Integrar las consideraciones de biodiversidad en las decisiones de planificación y uso del suelo.	Proveer métricas de biodiversidad en documentos de planificación y evaluar los efectos sobre la biodiversidad en decisiones de uso del suelo.	Métricas creadas y efectos sobre la biodiversidad evaluados.	Líder: Estuario Socios implementadores: DRNA, municipios, Fideicomiso de Conservación de Puerto Rico, grupos privados de conservación y Junta de Planificación	Pendiente	0-2 años	TBD	DRNA, municipios

Requisitos regulatorios y de política pública

La integración de la biodiversidad en las decisiones de planificación y uso del suelo requerirán defensa para asegurar que la biodiversidad sea un criterio considerado en todos los documentos de planificación y en todas las decisiones de uso del suelo dentro y alrededor del EBSJ.

FE-02 Recuperar la población de manatí antillano en el EBSJ y establecer áreas de protección para manatíes.

Actividades

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Realizar censos y utilizar una red de notificación ciudadana para documentar avistamientos y establecer el número total de manatíes dentro del sistema del EBSJ.	Completar la recopilación de datos sobre el número de manatíes que utilizan el sistema del EBSJ.	Censo completado con ubicaciones y conteos de avistamientos de manatíes.	Líder: DRNA Socios implementadores: USFWS	Pendiente	0-2 años	TBD	DRNA
2. Establecer áreas de protección para manatíes.	Establecer y reglamentar refugios o santuarios de manatíes para regular el uso de embarcaciones y la velocidad de navegación.	Áreas de protección para manatíes creadas y fiscalizadas.	Líder: USFWS Socios implementadores: DRNA y Guardia Costera de EE. UU.	Pendiente	0-2 años	TBD	USFWS
3. Dar continuidad al Informe de evaluación del estado de conservación de la especie Manatí antillano.	Completar el Informe de evaluación del estado de conservación de la especie Manatí antillano cada cinco años.	Informe de evaluación del estado de conservación de la especie Manatí antillano completado.	Líder: USFWS Socios implementadores: DRNA y Guardia Costera de EE. UU.	En curso	Más de 5 años	TBD	USFWS

Requisitos regulatorios y de política pública

Existen zonas de velocidad reguladas por el Estado, pero se requiere un mayor nivel de fiscalización. Actualmente no hay áreas de protección para manatíes en Puerto Rico; sin embargo, el USFWS tiene la autoridad para establecer estas áreas como refugios o santuarios de manatíes. Un refugio de manatíes se define como un área donde se establecen ciertas actividades acuáticas y otras restricciones para evitar la captura de un manatí. Un santuario de manatíes es un área en la que todas las actividades acuáticas están prohibidas. Al igual que las zonas de velocidad reguladas por el Estado, una vez establecidas estas áreas requerirán fiscalización (USFWS, 2024).

***NUEVO* FE-03 Reducir las fuentes de ruido y luz antropogénicas en la cuenca del EBSJ para proteger los organismos estuarinos.**

Actividades

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Estudiar los efectos del ruido y la luz sobre los organismos estuarinos en el EBSJ.	Obtener una comprensión más completa de los efectos del ruido y la luz sobre los organismos estuarinos.	Efectos del ruido y la luz sobre los organismos estuarinos en el EBSJ analizados.	Líder: Estuario Socios implementadores : USACE, NMFS, USFWS y DRNA	Pendiente	3-5 años	TBD	Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA)
2. Preparar un plan de manejo de iluminación exterior para el EBSJ.	Preparar un plan de manejo de iluminación exterior para el EBSJ y lograr que los municipios hagan cumplir las acciones mediante ordenanzas locales.	Plan de manejo de iluminación elaborado para el EBSJ y ordenanzas municipales establecidas.	Líder: Estuario Socios implementadores : Municipios, NMFS, NOAA, USFWS y DRNA	Pendiente	3-5 años	TBD	NOAA, DRNA

Requisitos regulatorios y de política pública

Se requiere hacer cumplir las ordenanzas municipales dirigidas a reducir el ruido antropogénico alrededor del EBSJ. También se deben considerar los ruidos percutivos y otros sonidos de alta intensidad para la aprobación de permisos de construcción dentro y alrededor del EBSJ. Los municipios deben adoptar prácticas de iluminación amigables para las tortugas marinas y considerar ordenanzas para eliminar la iluminación directa en las áreas costeras de anidación de tortugas marinas y para mitigar el resplandor del cielo nocturno.

***NUEVO* FE-04 Apoyar la investigación para comprender mejor la dinámica de las comunidades bentónicas en la cuenca hidrográfica del EBSJ.**

Actividades

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Establecer alianzas con universidades e instituciones de investigación locales y organizar talleres y sesiones de capacitación para estudiar las comunidades bentónicas.	Organizar reuniones y foros para que los socios se reúnan y colaboren.	Alianzas establecidas y metodologías estandarizadas desarrolladas.	Líderes: Estuario, NOAA Socios implementadores: Universidad de Puerto Rico (UPR), Ponce Health Sciences University (PHSU), Instituto de Arrecifes de Coral del Caribe (ISER Caribe), NMFS, Consejo de Administración Pesquera del Caribe y USFWS	Pendiente	0-2 años	TBD	NOAA
2. Identificar a las partes interesadas y las fuentes de financiamiento para la investigación prioritaria.	Continuar ampliando los foros y reuniones con los socios para identificar fuentes de financiamiento.	Fuentes de financiamiento identificadas.	Líder: Estuario Socios implementadores: UPR, PHSU, ISER Caribe, NMFS, Consejo de Administración Pesquera del Caribe, USFWS y NOAA	Pendiente	3-5 años	TBD	NOAA, USACE
3. Utilizar los hallazgos de la investigación para orientar las prácticas de manejo y las decisiones de política pública.	Continuar ampliando los foros y reuniones con los socios para presentar los hallazgos de la investigación y capacitar a los socios.	Prácticas de manejo y decisiones de política pública presentadas a los socios.	Líder: Estuario Socios implementadores: DRNA, USACE, NOAA, NMFS y USFWS	Pendiente	Más de 5 años	TBD	NOAA, USACE

Requisitos regulatorios y de política pública

Se requiere financiamiento para continuar la investigación y generar datos que permitan comprender plenamente la comunidad bentónica y los servicios ecológicos que provee para apoyar los ecosistemas y la calidad del agua.

***NUEVO* FE-05 Recopilar datos sobre hábitats y especies críticas para su protección en el área de estudio ampliada propuesta.**

Actividades

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Desarrollar e implementar un estudio sobre hábitats y especies críticas en el área de estudio ampliada propuesta, incluyendo ubicaciones y condiciones.	Recopilar información sobre los hábitats y especies en el área de estudio ampliada propuesta.	Estudio completado con datos para desarrollar planes.	Líder: Estuario Socios implementadores: DRNA, municipios, academia y comunidad científica	Pendiente	0-2 años	TBD	USEPA, USFWS, Servicio Forestal de los Estados Unidos (USFS)
2. Desarrollar mapas que muestren los resultados del estudio sobre hábitats y especies en el área de estudio ampliada propuesta.	Mejorar la información sobre la ubicación y el estado de los hábitats y especies críticas.	Mapas desarrollados que muestran los hábitats y las especies.	Líder: Estuario Socios implementadores: municipios, DRNA, academia y comunidad científica	Pendiente	3-5 años	TBD	USEPA, USFWS, USFS
3. Utilizar los resultados del estudio a fin de identificar proyectos y estrategias de manejo para los hábitats y especies críticas en el área de estudio ampliada propuesta.	Mejorar el estado de los hábitats y especies críticas en el área de estudio ampliada propuesta.	Lista de proyectos y estrategias de manejo preparada para mejorar el hábitat y las especies.	Líder: Estuario Socios implementadores: municipios, DRNA, academia y comunidad científica	Pendiente	Más de 5 años	TBD	DRNA, USEPA, municipios

Requisitos regulatorios y de política pública

Ninguno para el estudio. Los resultados ayudarán a informar futuras necesidades regulatorias y de política pública.

Referencias

Castro-Rivera, Francisco, Colón-Dávila, Luis, Foresier-Montalvo, David, y Ríos-Franceschi, Alejandro. 2024. Efectos de la central eléctrica de Aguirre en el paisaje sonoro marino: una nueva función de los manglares

en la Reserva Nacional de Investigación Estuarina de la Bahía de Jobos, Puerto Rico: un estudio preliminar. *Caribbean Journal of Science*.

Díaz, E., Connor Cerezo, C., Amador, M. J., Dragoni, A., Pagés, F., Rodríguez, M., Feliciano, V., Almodóvar, B., Courtney, C., Green, G., Haeker, J., Parks, J., Rolli, C. 2021. Plan estratégico de implementación para catalizar una economía azul en el Caribe estadounidense. Elaborado por Tetra Tech, Inc. para Bluetide Puerto Rico, Inc. Financiado por la Administración de Desarrollo Económico de los Estados Unidos.

DRNA. 1997. Evaluación ecológica del Programa del Estuario de la Bahía de San Juan: Informe de caracterización de la comunidad biológica y del hábitat.

Estuario. 2016. Plan Integral de Manejo y Conservación del Estuario de la Bahía de San Juan. Estuario de la Bahía de San Juan.

Estuario. 2000. Plan Integral de Manejo y Conservación.

Herrera, Luis Jorge Rivera. 1996. Lista de la flora y fauna del sistema del Estuario de la Bahía de San Juan. Elaborado para el Programa del Estuario de la Bahía de San Juan.

Lugo, A. E. y Bauzá Ortega, J. F. 2024. Estuario de la Bahía de San Juan: Historia y oportunidades de investigación. Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos.

Ortiz-Zayas, J. R., E. Cuevas, O. L. Mayol Bracero, L. Donos, I. Trebs, D. Figuero Nieves y W. H. McDowell. 2006. Influencia urbana en el ciclo del nitrógeno en Puerto Rico. *Biogeochemistry*.

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

Tetra Tech. 2011. Proyecto de mejora de la calidad del agua de la Laguna del Condado y restauración de las praderas marinas: investigaciones de referencia sobre batimetría, comunidad bentónica y compatibilidad de sedimentos – borrador final. Tetra Tech, preparado para el Programa del Estuario de la Bahía de San Juan.

USDA. 2014. Inventario de bosques urbanos de la cuenca hidrográfica del Estuario de la Bahía de San Juan.

USGS. 2011. Respuesta conductual de los manatíes a variaciones en los niveles de sonido ambiental. *Marine Mammal Science*. doi: 10.1111/j.1748-7692.2010.00381.x.

USEPA. 2025. Programa del Estuario de la Bahía de San Juan.

USFWS. 2024. Informe de evaluación del estado de conservación de la especie Manatí antillano (*Trichechus manatus manatus*), versión 1.1. Mayo de 2024. Atlanta, GA.

Manejo de ecosistemas basado en la resiliencia

Trasfondo

El EBSJ es un ecosistema altamente dinámico y complejo que integra diversos hábitats costeros y urbanos, como manglares, praderas de pastos marinos, arrecifes de coral, corredores ribereños, playas, matorrales costeros, dunas de arena y bosques húmedos de tierras altas. Cada uno de estos hábitats desempeña una función distinta, pero interconectada, en el mantenimiento de la resiliencia ecológica del estuario. Sin embargo, el EBSJ enfrenta cada vez más los efectos acumulativos de la urbanización, el desarrollo industrial, la contaminación, la pérdida de hábitat y la alteración hidrológica, todos ellos factores que debilitan las funciones del ecosistema, deterioran la calidad del agua y ponen en riesgo el bienestar social y económico de las comunidades que dependen de él (Lugo y Bauzá-Ortega, 2024).

Estos desafíos subrayan la necesidad urgente de un enfoque de gestión de los ecosistemas basado en la resiliencia, que atienda de manera integral las interdependencias entre hábitats, mejore la calidad ecológica y garantice que los ecosistemas se manejen de acuerdo con sus designaciones de conservación. La complejidad de los ecosistemas del EBSJ exige un marco de referencia para el manejo que trascienda acciones aisladas o respuestas a un solo problema y que, en cambio, promueva la colaboración intersectorial, la restauración basada en la ciencia y estrategias adaptativas que puedan responder al cambio ambiental continuo.

Los hábitats del EBSJ funcionan como redes ecológicas interconectadas. Los bosques de manglar, por ejemplo, no solo estabilizan las costas y secuestran carbono, sino que también brindan áreas esenciales de crianza para peces y mariscos, incluido el juey azul terrestre o juey común (*Cardisoma guanhumi*), cuya población ha disminuido debido a la sobrepesca y la degradación del hábitat (Govender, 2019; Bauzá-Ortega, 2015). Las praderas de pastos marinos funcionan como corredores submarinos que conectan los manglares con los arrecifes de coral y sostienen más de 150 especies acuáticas, incluida fauna en peligro de extinción como el manatí antillano y la tortuga verde (Bauzá Ortega, 2015; LG2 Environmental Solutions y CSA Ocean Sciences, 2021). Los arrecifes de coral y los hábitats artificiales aumentan la biodiversidad y la abundancia de peces, y ofrecen servicios ecosistémicos críticos y oportunidades recreativas (Wenger et al., 2017; Harris, 2009).

Los corredores ribereños conectan los ecosistemas terrestres y acuáticos, ofrecen diversidad de hábitats y apoyan la calidad del agua; sin embargo, estos corredores son vulnerables a la canalización y a la expansión urbana, lo que fragmenta los hábitats y reduce las funciones ecológicas (Lugo et al., 2011; de Jesús Crespo y Ramírez, 2011). Elementos del litoral, como las playas, los matorrales costeros y las dunas de arena, funcionan como barreras frente a tormentas y como hábitat para especies de flora y fauna únicas; no obstante, enfrentan erosión acelerada y “compresión costera” debido al aumento del nivel del mar y a las actividades humanas (Lugo y Bauzá-Ortega, 2024; Bruun, 1962; Fish et al., 2005).

La interdependencia de estos hábitats implica que la degradación o pérdida en un área se propaga a través del sistema, reduciendo la resiliencia general. Por ejemplo, la deforestación de manglares o la alteración de los flujos de marea pueden disminuir los hábitats de crianza de peces, reducir la retención de sedimentos y afectar la calidad del agua aguas abajo. De igual manera, la pérdida de praderas de pastos marinos puede incrementar la resuspensión de sedimentos y la turbidez, lo que a su vez afecta más los arrecifes de coral y las comunidades bentónicas. Reconocer y manejar estas conexiones es fundamental para sostener las funciones ecológicas del estuario y los servicios que estas proveen.

El sistema del EBSJ está sujeto a múltiples factores de estrés que interactúan entre sí. La urbanización y el desarrollo industrial introducen contaminantes, nutrientes, metales pesados y residuos sólidos que deterioran la calidad del agua y afectan la vida acuática (USEPA, 2009). El desarrollo de infraestructura altera la hidrología, interrumpiendo los flujos de marea y el transporte de sedimentos, lo que provoca acumulación de sedimentos y degradación del hábitat.

Estas amenazas superpuestas reducen la capacidad del estuario para absorber perturbaciones y recuperarse, aspectos que constituyen elementos centrales de la resiliencia. Sin un manejo estratégico e integrado, los efectos acumulativos merman la biodiversidad, comprometen los servicios ecosistémicos y amenazan los medios de vida de las comunidades locales de pesca, turismo y zonas costeras.

El manejo integrado de ecosistemas reconoce la complejidad del sistema del EBSJ al coordinar entre tipos de hábitat, sectores y partes interesadas para mejorar la conectividad, las funciones ecológicas y la capacidad adaptativa. Este enfoque incluye la restauración de hábitats basada en la ciencia, como la instalación de arrecifes artificiales que brindan protección costera al tiempo que mejoran los hábitats y apoyan la acuicultura y la recreación (Harris, 2009). También prioriza la conservación y restauración de manglares, pastos marinos y corredores ribereños para mantener servicios ecosistémicos críticos y la biodiversidad (Bauzá-Ortega, 2015; Lugo y Bauzá-Ortega, 2024).

Además, el manejo integrado reconoce la importancia de gestionar los ecosistemas de acuerdo con sus funciones ecológicas designadas y los marcos regulatorios aplicables, incluidas protecciones específicas para especies como el juey (*Cardisoma guanhumi*) (Govender, 2019). Las estrategias de manejo adaptativo son esenciales para responder de manera efectiva a los cambios ambientales presentes y futuros, como la migración de hábitats inducida por el aumento del nivel del mar y la dinámica de sedimentos provocada por tormentas (Bruun, 1962; Estuario, 2016).

Asimismo, el manejo integrado de ecosistemas reconoce las especies críticas en el EBSJ. Existen 17 especies de plantas consideradas críticas, entre ellas el arana (*Schoepfia arenaria*) y la cobana negra (*Stahlia monosperma*), catalogadas como en peligro y amenazada, respectivamente, por el USFWS y el DRNA. El área de Torrecilla–Vacía Talega–Piñones sirve como hábitat para 11 especies críticas de plantas, de las cuales cuatro son endémicas y ocho no se encuentran en ninguna otra parte del sistema. Otras cuatro especies críticas están presentes únicamente en la ciénaga Las Cucharillas: dos enredaderas (*whitejacket* [*Aniseia martinicensis*] y *hog slip* [*Ipomoea tiliacea*]) y dos especies herbáceas (John Charles [*Hyptis verticillata*] y *egger's nutrush* [*Scleria eggersiana*]). La mayoría de las demás especies críticas de plantas se encuentran solo en las áreas menos alteradas del estuario. Estas incluyen un helecho acuático (trébol de agua enano [*Marsilea polycarpa*]); un arbusto endémico (arana [*Schoepfia arenaria*]); árboles endémicos (uvero de monte [*Coccoloba sintenisii*], zapote de costa [*Manilkara pleeana*] y maga [*Thespesia grandiflora*]); sesuvio marino [*Sesuvium maritimum*]; ninfea [*Nymphaea pulchella*]; ortiga gris [*Caesalpinia bonduc*]; ciertas especies herbáceas (paronia trepadora [*Paronia paniculata*] y ajonjolí negro [*Hyptis spicigera*]); y sagittaria intermedia [*Sagittaria intermedia*] (Estuario, 2000).

Un objetivo clave del manejo integrado es mejorar los indicadores de calidad del ecosistema que reflejan la resiliencia ecológica. Esto incluye mejorar la calidad del agua mediante la reducción de la contaminación, restaurar la complejidad del hábitat para sostener diversos conjuntos de especies y aumentar la captura de

carbono mediante la restauración de bosques y humedales (Brandeis et al., 2014). El monitoreo de estos indicadores informa la toma de decisiones adaptativa y ayuda a priorizar esfuerzos de restauración que generen los mayores beneficios ecológicos y sociales.

La riqueza ecológica y la importancia socioeconómica del EBSJ dependen de las funciones y la resiliencia de sus ecosistemas interconectados. Dada la multiplicidad de presiones antropogénicas y climáticas, el manejo de ecosistemas basado en la resiliencia no solo es necesario, sino imperativo. Al comprender las interconexiones del ecosistema, mejorar los indicadores ecológicos críticos y gestionar eficazmente las áreas protegidas, las partes interesadas pueden fortalecer la capacidad del estuario para resistir y adaptarse al cambio, protegiendo sus recursos naturales y el bienestar de sus comunidades por generaciones.

Objetivos

- Determinar la condición actual y monitorear la calidad del ecosistema como base para un manejo basado en la resiliencia.
- Determinar la condición actual y monitorear el estado poblacional de las especies amenazadas y en peligro de extinción.
- Determinar la condición actual y monitorear la función ecológica de las áreas naturales protegidas.
- Comprender a fondo las interconexiones del ecosistema.
- Mejorar los indicadores de calidad del ecosistema utilizando métricas de sistemas tropicales.
- Manejar adecuadamente las áreas naturales protegidas de acuerdo con su designación.

Acciones

FE-06 Restaurar, mejorar y crear bosques de manglar en el sistema del EBSJ.

Actividades

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Realizar una evaluación de referencia de las poblaciones de manglar existentes para identificar áreas degradadas y priorizar los esfuerzos de conservación.	Mapear de manera integral las poblaciones de manglar.	Evaluación de referencia finalizada.	Líder: DRNA Socios implementadores : Estuario, academia y organizaciones locales	Pendiente	0-2 años	TBD	USEPA, DRNA, municipios
2. Desarrollar directrices para prácticas de manejo sostenible y técnicas de restauración de los ecosistemas de manglar.	Identificar las mejores prácticas para el manejo sostenible y la restauración.	Resumen de prácticas exitosas y sostenibles de manejo y restauración de manglares desarrollado.	Líder: DRNA Socios implementadores : Estuario, USFWS y USEPA	Pendiente	3-5 años	TBD	USEPA, DRNA, municipios

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
3. Establecer un programa de monitoreo para dar seguimiento al crecimiento de las poblaciones de manglar, incluyendo los efectos de especies no nativas.	Identificar indicadores de desempeño que permitan detectar fácilmente el crecimiento del manglar.	Programa de monitoreo finalizado.	Líder: DRNA Socios implementadores : Estuario, USFWS y USEPA	Pendiente	3-5 años	TBD	USEPA, DRNA, municipios
4. Desarrollar alianzas con partes interesadas y organizaciones ambientales para asegurar financiamiento y recursos para los esfuerzos continuos de conservación.	Aumentar el nivel de alianzas con las partes interesadas.	Colaboración establecida con socios para asegurar financiamiento para los esfuerzos de conservación.	Líder: Estuario Socios implementadores : DRNA, USFWS, municipios, organizaciones locales y academia	Pendiente	Más de 5 años	TBD	USEPA, DRNA, municipios
5. Sembrar mangles en ubicaciones prioritarias identificadas.	Mejorar las tasas de supervivencia y crecimiento de los mangles recién sembrados.	Aumento en el número de mangles.	Líder: DRNA, USFWS, Servicio de Conservación de Recursos Naturales (NRCS) Socios implementadores : municipios, organizaciones locales y Estuario	Pendiente	3-5 años	TBD	DRNA, USFWS, NRCS

Requisitos regulatorios y de política pública

La restauración de manglares en el sector norte del Caño Martín Peña ha sido una historia de éxito en el EBSJ. El éxito de las acciones planteadas requerirá apoyo legislativo continuo para financiar las restauraciones de manglares, así como apoyo de funcionarios municipales y estatales para garantizar que los manglares existentes permanezcan y que el nuevo desarrollo incorpore franjas de manglar como áreas de amortiguamiento.

FE-07 Mejorar las praderas marinas en el sistema del EBSJ.

Actividades

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Realizar una evaluación de referencia (condición actual) de las praderas marinas existentes en el EBSJ.	Mejorar la comprensión sobre la distribución actual de las praderas marinas.	Evaluación de referencia finalizada.	Responsable: DRNA Socios implementadores: Estuario, USEPA y academia	Pendiente	0-2 años	TBD	USEPA, DRNA, municipios
2. Crear un plan de restauración con estrategias para mejorar las praderas marinas.	Identificar áreas prioritarias.	Plan de restauración finalizado.	Líder: DRNA Socios implementadores: Estuario, USEPA, municipios y academia	Pendiente	3-5 años	TBD	USEPA, DRNA, municipios
3. Asociarse con las partes interesadas para realizar investigaciones sobre la calidad del agua y el crecimiento de las praderas marinas, utilizando los hallazgos para informar las mejores prácticas de manejo.	Establecer alianzas formales con universidades locales y partes interesadas clave.	Propuesta de investigación completada, que describe los objetivos, métodos y resultados esperados del estudio, y aprobaciones necesarias obtenidas.	Líder: DRNA Socios implementadores: Estuario, municipios, grupos comunitarios y academia	Pendiente	3-5 años	TBD	DRNA, USEPA

Requisitos regulatorios y de política pública

La protección del hábitat de las praderas marinas requiere el apoyo del gobierno local y estatal a fin de planificar financiamiento a largo plazo para un enfoque programático de monitoreo y protección de las praderas marinas.

FE-08 Implementar la Ley Núm. 112 de 2013, que creó la Reserva Natural Estuarina de la Laguna del Condado.

Actividades

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Implementar programas de concienciación pública y educación en el área de la Laguna del Condado para informar a las comunidades locales.	Mejorar la comprensión comunitaria sobre los temas clave.	Evaluaciones de seguimiento realizadas para medir la efectividad de los programas implementados.	Responsables: DRNA, Estuario Socios implementadores: representantes de la comunidad, Municipio de San Juan y empresas	Pendiente	0-2 años	TBD	DRNA, municipios
2. Establecer un marco de monitoreo y evaluación para medir la efectividad de las acciones de manejo incluidas en el Plan de Manejo de la Reserva Natural Estuarina de la Laguna del Condado y el cumplimiento con la Ley Núm. 112-2013.	Establecer indicadores específicos y medibles para evaluar la efectividad.	Resultados del monitoreo revisados y efectividad de las acciones de manejo evaluada.	Responsables: DRNA, Estuario Socios implementadores: grupos comunitarios, representantes comunitarios, Municipio de San Juan y empresas	Pendiente	0-2 años	TBD	DRNA, municipios, USEPA

Requisitos regulatorios y de política pública

Continuar implementando la ley.

***NUEVO* FE-09 Mejorar las comunidades de coral en el sistema del EBSJ.**

Actividades

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Evaluar las comunidades de coral existentes en el EBSJ.	Mejorar la comprensión sobre la distribución actual de los corales.	Evaluación de referencia finalizada.	Líder: USEPA, DRNA Socios implementadores: Estuario y academia	Pendiente	0-2 años	TBD	USEPA, DRNA, municipios, NOAA

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
2. Desarrollar un plan de restauración para el EBSJ, en coordinación con las partes interesadas, mediante la evaluación de opciones como el trasplante de corales y la reubicación de fragmentos de coral existentes hacia áreas degradadas.	Identificar áreas prioritarias.	Plan de restauración finalizado.	Líder: USEPA, DRNA Socios implementadores: Estuario, municipios, academia y organizaciones locales	Pendiente	3-5 años	TBD	USEPA, DRNA, municipios, NOAA
3. Establecer un programa de monitoreo a largo plazo de las comunidades de coral en el EBSJ.	Desarrollar protocolos estandarizados de monitoreo para la evaluación de corales.	Informes de monitoreo presentados periódicamente a las partes interesadas.	Responsables: USEPA, DRNA Socios implementadores: Estuario y municipios	Pendiente	3-5 años	TBD	USEPA, DRNA, municipios

Requisitos regulatorios y de política pública

Se requerirá el apoyo de funcionarios municipales y estatales para asegurar que los corales existentes permanezcan y que el nuevo desarrollo incorpore elementos que puedan fortalecer y apoyar el crecimiento de nuevos corales.

****NUEVO* FE-10 Continuar el diseño y la implementación de medidas que restauren hábitats bentónicos degradados y promuevan la creación de hábitats bentónicos y viveros para peces y mariscos.***

Actividades

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Evaluar los hábitats bentónicos para identificar las áreas que requieren restauración.	Aumentar la comprensión sobre la condición actual y la diversidad de los hábitats bentónicos.	Estrategias de restauración de hábitats bentónicos integradas a los planes más amplios de manejo ecosistémico.	Líder: DRNA Socios implementadores: Estuario y academia	Pendiente	0-2 años	TBD	DRNA, USEPA

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
2. Realizar un estudio de viabilidad con el objetivo de identificar ubicaciones potenciales para estructuras artificiales en coordinación con las partes interesadas locales.	Identificar ubicaciones adecuadas para estructuras artificiales.	Estudio de viabilidad finalizado.	Responsables: DRNA, USEPA Socios implementadores: Estuario, academia, municipios y organizaciones locales	Pendiente	3-5 años	TBD	DRNA, USEPA
3. Implementar proyectos piloto para probar la instalación de estructuras artificiales (es decir, Taíno Reefs@ y Biohuts).	Documentar los beneficios ecológicos observados en los proyectos piloto.	Instalación completada de estructuras artificiales piloto.	Responsables: DRNA, USEPA Socios implementadores: Estuario, academia, municipios y organizaciones locales	Pendiente	Más de 5 años	TBD	DRNA, USEPA, municipios, organizaciones locales

Requisitos regulatorios y de política pública

Se requerirá el apoyo de funcionarios municipales y estatales para asegurar que los corales existentes permanezcan y que el nuevo desarrollo incorpore elementos que puedan mejorar y apoyar el crecimiento de nuevos corales, sostener la calidad de los sedimentos y proporcionar hábitats para la vida marina.

***NUEVO* FE-11 Mejorar y proteger los ecosistemas oceánicos (paisajes marinos) y su conectividad.**

Actividades

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Evaluar las condiciones existentes e identificar las áreas que requieren intervención.	Identificar áreas específicas que presenten signos de degradación o deterioro.	Áreas prioritarias definidas para intervención con base en los datos de la evaluación.	Líder: DRNA, NRCS, USEPA, Estuario Socios implementadores: municipios y academia	Pendiente	0-2 años	TBD	USEPA, DRNA, NRCS

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
2. Desarrollar un plan de mejora para los paisajes marinos.	Desarrollar estrategias y acciones de mejora.	Plan de mejora finalizado.	Líder: DRNA, NRCS, USEPA, Estuario Socios implementadores: municipios y academia	Pendiente	3-5 años	TBD	USEPA, DRNA, NRCS
3. Implementar el plan de mejora propuesto y establecer protocolos de monitoreo y mantenimiento.	Documentar las mejoras derivadas de las acciones implementadas.	Acciones de mejora implementadas.	Líder: DRNA, NRCS, USEPA, Estuario Socios implementadores: municipios y academia	Pendiente	Más de 5 años	TBD	USEPA, DRNA, NRCS

Requisitos regulatorios y de política pública

La mejora de los paisajes marinos requerirá la cooperación de los municipios mediante la creación e implementación de ordenanzas. Es posible que las estrategias de manejo incluyan recomendaciones de legislación a nivel estatal y federal.

FE-12 Establecer medidas de manejo en el sistema del EBSJ para el jey azul terrestre (*Cardisoma guanhumii*).

Actividades

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Identificar los hábitats críticos y los requerimientos de la especie, incluidas las necesidades de terreno y conservación.	Evaluar las amenazas actuales a los hábitats.	Recopilación de datos completada para mapear los hábitats críticos y la distribución de la especie.	Líder: DRNA, USEPA, NRCS Socios implementadores: Estuario, academia, municipios y organizaciones locales	Pendiente	0-2 años	TBD	DRNA, USEPA, NRCS
2. Desarrollar un plan de manejo y establecer un programa de monitoreo para dar seguimiento a las condiciones de la especie.	Recopilar aportaciones de las partes interesadas e intensificar el monitoreo.	Plan de manejo finalizado.	Líder: DRNA, USEPA, NRCS Socios implementadores: Estuario, academia, municipios y organizaciones locales	Pendiente	3-5 años	TBD	DRNA, USEPA, NRCS

Requisitos regulatorios y de política pública

Es posible que el manejo de la especie requiera la cooperación de los municipios mediante la adopción e implementación de ordenanzas. También es posible que las estrategias de manejo incluyan recomendaciones de legislación a nivel estatal y federal.

FE-13 Continuar implementando un plan de recuperación de tortugas marinas.

Actividades

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Identificar áreas en el EBSJ con potencial para anidación.	Aumentar la colaboración con las partes interesadas en la recopilación de datos.	Áreas potenciales de anidación identificadas.	Líder: DRNA Socios implementadores: USFWS, municipios, Estuario, Siete Quillas y organizaciones locales	En curso	3-5 años	TBD	DRNA, USEPA, USFWS
2. Fortalecer la población de la tortuga carey de laúd.	Aumentar la actividad de anidación.	Medidas de protección implementadas.	Líder: DRNA Socios implementadores: USFWS, municipios, Estuario, academia, Siete Quillas y organizaciones locales	Pendiente	Más de 5 años	TBD	DRNA, USEPA, USFWS
3. Coordinar con las partes interesadas para educar al público sobre la importancia de proteger las especies de tortugas marinas.	Aumentar la conciencia pública sobre la conservación de las tortugas marinas.	Materiales educativos desarrollados.	Líder: DRNA Socios implementadores: USFWS, municipios, Estuario, Siete Quillas, Condado Collection y organizaciones locales	En curso	0-2 años	TBD	DRNA, USEPA, USFWS

Requisitos regulatorios y de política pública

Es posible que el manejo de la especie requiera la cooperación de los municipios mediante la adopción e implementación de ordenanzas. También es posible que las estrategias de manejo incluyan recomendaciones de legislación a nivel estatal y federal.

FE-14 Proteger las poblaciones existentes de especies de aves amenazadas y en peligro de extinción, y proteger y restaurar su hábitat dentro del sistema del EBSJ.

Actividades

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Hacer cumplir las regulaciones existentes relacionadas con las especies de aves y su hábitat para proteger las áreas de reproducción y anidación.	Aumentar el cumplimiento de las partes interesadas con las regulaciones existentes.	Sesiones de capacitación impartidas a agencias reguladoras sobre el marco legal y reglamentario.	Líder: DRNA, USFWS Socios implementadores: Estuario, municipios y organismos reguladores	En curso	3-5 años	TBD	DRNA, USFWS
2. Desarrollar medidas para controlar la introducción de especies no nativas en el EBSJ.	Revisar las regulaciones y prácticas actuales e identificar áreas de mejora.	Mayor conciencia creada entre las partes interesadas sobre los riesgos de las especies no nativas.	Líder: DRNA, USFWS Socios implementadores: Estuario y municipios	En curso	Más de 5 años	TBD	DRNA, USFWS
3. Educar al público para aumentar la conciencia sobre las medidas de manejo y las regulaciones.	Aumentar la comprensión pública sobre las medidas de manejo y las regulaciones.	Colaboración establecida con las partes interesadas para promover esfuerzos de divulgación.	Líder: DRNA, USFWS Socios implementadores: Estuario y organizaciones locales	En curso	3-5 años	TBD	DRNA, USFWS

Requisitos regulatorios y de política pública

Es posible que el manejo de la especie requiera la cooperación de los municipios mediante la adopción e implementación de ordenanzas. También es posible que las estrategias de manejo incluyan recomendaciones de legislación a nivel estatal y federal.

FE-15 Mejorar y proteger las especies de plantas amenazadas y en peligro de extinción dentro del EBSJ.

Actividades

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Desarrollar viveros para suplir especies de plantas críticas.	Fortalecer las alianzas entre los viveros y las partes interesadas.	Inventario mejorado de especies de plantas críticas.	Líder: DRNA, USFWS Socios implementadores: Estuario, municipios y viveros locales	Pendiente	0-2 años	TBD	DRNA, USFWS
2. Desarrollar planes de manejo para las especies críticas.	Establecer indicadores medibles para evaluar la efectividad de los planes de manejo.	Planes de manejo finalizados para especies de plantas críticas.	Líder: DRNA, USFWS Socios implementadores: Estuario	Pendiente	3-5 años	TBD	DRNA, USFWS
3. Establecer zonas de protección para apoyar la propagación.	Identificar áreas como posibles zonas de protección.	Directrices creadas para proteger y manejar las zonas de protección.	Líder: DRNA, USFWS Socios implementadores: Estuario y municipios	En curso	3-5 años	TBD	DRNA, USFWS
4. Educar al público sobre la importancia de las especies críticas.	Aumentar la conciencia pública sobre las especies críticas de plantas y sus funciones ecológicas.	Recursos educativos creados, enfocados en la importancia de las especies críticas.	Líder: DRNA, USFWS Socios implementadores: Estuario, municipios y organizaciones comunitarias locales	En curso	0-2 años	TBD	DRNA, USFWS

Requisitos regulatorios y de política pública

Es posible que el manejo requiera la cooperación de los municipios mediante la adopción e implementación de ordenanzas. También es posible que las estrategias de manejo incluyan recomendaciones de legislación a nivel estatal y federal a fin de facilitar los requisitos de permisos para proyectos que incorporen especies de plantas críticas.

FE-16 Determinar las áreas históricas y actuales de pesca recreativa en el EBSJ y desarrollar un plan para manejar adecuadamente los recursos pesqueros recreativos.

Actividades

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Identificar las áreas utilizadas por pescadores recreativos y comerciales, y determinar los desafíos percibidos con relación a los recursos pesqueros.	Aumentar la comprensión sobre la captura de especies de peces y las áreas de pesca más utilizadas.	Comunicación establecida con los pescadores recreativos sobre las áreas de pesca comúnmente utilizadas y los patrones de uso.	Líder: DRNA Socios implementadores: Estuario, USFWS, NMFS, Sea Grant Puerto Rico, grupos comunitarios y Consejo de Administración Pesquera del Caribe	En curso	0-2 años	TBD	DRNA
2. Identificar las áreas que requieren apoyo en términos de protección y manejo.	Mapear de manera integral los hábitats vulnerables que requieren esfuerzos adicionales de protección y manejo.	Evaluaciones de campo realizadas para recopilar datos sobre las condiciones del hábitat.	Líder: DRNA Socios implementadores: Estuario, Sea Grant Puerto Rico, grupos comunitarios y Consejo de Administración Pesquera del Caribe	Pendiente	0-2 años	TBD	DRNA

Requisitos regulatorios y de política pública

Es posible que el manejo pesquero requiera cambios en los límites estacionales, geográficos, de tamaño y de captura por pescador para algunas especies de peces. La educación y la fiscalización de las regulaciones pesqueras nuevas y existentes serán fundamentales.

***NUEVO* FE-17 Mejorar, restaurar y crear dunas costeras, bosques costeros y matorrales costeros.**

Actividades

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Evaluar las condiciones existentes e identificar las áreas que requieren intervención.	Identificar áreas específicas que presenten degradación o deterioro y que requieran intervención.	Datos recopilados analizados para identificar áreas específicas de preocupación y evaluar la severidad de la degradación.	Líder: DRNA, USFWS Socios implementadores: Estuario, municipios, academia, comunidad científica, organizaciones no gubernamentales (ONG) medioambientales, consultores y Servicio Geológico de los Estados Unidos	Pendiente	0-2 años	TBD	DRNA, USFWS, municipios
2. Desarrollar planes para mejorar, restaurar y crear hábitats costeros.	Establecer indicadores medibles para evaluar la efectividad de las acciones de mejora.	Plan de mejora del hábitat finalizado con aportaciones de las partes interesadas.	Líder: DRNA, USEPA Socios implementadores: Estuario, municipios, academia, comunidad científica, ONG medioambientales y consultores	Pendiente	3-5 años	TBD	DRNA, USEPA, municipios
3. Implementar los planes desarrollados para mejorar, restaurar y crear hábitats costeros, y establecer un protocolo de monitoreo y mantenimiento.	Mejorar el hábitat y la información recopilada mediante el monitoreo.	Recursos necesarios asegurados para llevar a cabo las actividades de mejora y el monitoreo descritos en el plan.	Líder: DRNA, USEPA Socios implementadores: Estuario, municipios, academia, la comunidad científica, ONG medioambientales y consultores	Pendiente	Más de 5 años	TBD	DRNA, USEPA, municipios

Requisitos regulatorios y política pública

Es posible que el manejo requiera la cooperación de los municipios mediante la adopción e implementación de ordenanzas. También es posible que las estrategias de manejo incluyan recomendaciones de legislación

a nivel estatal y federal para limitar el desarrollo y aumentar las zonas de amortiguamiento alrededor de estas áreas críticas.

***NUEVO* FE-18 Mejorar y proteger los bosques y la conectividad del paisaje en la cuenca hidrográfica.**

Actividades

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Evaluar las condiciones existentes e identificar las áreas que requieren intervención.	Identificar áreas específicas que presenten degradación o deterioro y que requieran intervención.	Datos recopilados analizados para identificar áreas específicas de preocupación y evaluar la severidad de la degradación.	Líder: DRNA, USEPA Socios implementadores: Estuario, municipios, academia y comunidad científica	Pendiente	0-2 años	TBD	DRNA, USEPA, municipios
2. Desarrollar planes para mejorar los bosques de la cuenca alta y la conectividad del paisaje.	Establecer indicadores medibles para evaluar la efectividad de las acciones de mejora.	Plan de mejora del hábitat finalizado con aportaciones de las partes interesadas.	Líder: DRNA, USEPA, NRCS Socios implementadores: Estuario, municipios, academia y comunidad científica	Pendiente	3-5 años	TBD	DRNA, USEPA, municipios, USFS, USFWS, NRCS
3. Implementar los planes para mejorar los bosques de la cuenca alta y la conectividad del paisaje, y establecer un protocolo de monitoreo y mantenimiento.	Mejorar la conectividad del paisaje y la información recopilada mediante el monitoreo.	Recursos necesarios asegurados para llevar a cabo las actividades de mejora y monitoreo.	Líder: DRNA, USEPA, NRCS Socios implementadores: Estuario, municipios, academia y comunidad científica	Pendiente	Más de 5 años	TBD	DRNA, USEPA, municipios, USFS, USFWS, NRCS

Requisitos regulatorios y de política pública

Es posible que el manejo requiera la cooperación de los municipios mediante la adopción e implementación de ordenanzas. También es posible que las estrategias de manejo incluyan recomendaciones de legislación a nivel estatal y federal para limitar el desarrollo y aumentar las zonas de amortiguamiento en y alrededor de estas áreas críticas.

***NUEVO* FE-19 Mejorar y proteger los humedales herbáceos.**

Actividades

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Evaluar las condiciones existentes e identificar las áreas que requieren intervención.	Identificar áreas específicas que presenten degradación o deterioro y que requieran intervención.	Datos analizados para identificar áreas específicas de preocupación y evaluar la severidad de la degradación.	Líder: DRNA Socios implementadores: Estuario, municipios, academia, comunidad científica, ONG medioambientales y consultores	Pendiente	0-2 años	TBD	DRNA, USEPA, municipios
2. Desarrollar planes para proteger, mejorar y crear humedales herbáceos.	Establecer indicadores medibles para evaluar la efectividad de las acciones de mejora.	Plan finalizado con aportaciones de las partes interesadas.	Líder: DRNA Socios implementadores: Estuario, municipios, academia, comunidad científica, ONG medioambientales y consultores	Pendiente	3-5 años	TBD	DRNA, USEPA, municipios
3. Implementar los planes para proteger, mejorar y crear humedales herbáceos, y establecer un protocolo de monitoreo y mantenimiento.	Mejorar los humedales herbáceos y la información recopilada mediante el monitoreo.	Recursos necesarios asegurados para llevar a cabo las actividades de mejora descritas en los planes.	Líder: DRNA Socios implementadores: Estuario, municipios, academia, comunidad científica, ONG medioambientales y consultores	Pendiente	Más de 5 años	TBD	DRNA, USEPA, municipios

Requisitos regulatorios y de política pública

Es posible que el manejo requiera la cooperación de los municipios mediante la adopción e implementación de ordenanzas. También es posible que las estrategias de manejo incluyan recomendaciones de legislación a nivel estatal y federal para limitar el desarrollo y aumentar las zonas de amortiguamiento en y alrededor de estas áreas críticas.

****NUEVO* FE-20 Implementar un proyecto para incentivar y reconocer a propietarios individuales que manejen sus patios como parte de un área de conservación de la biodiversidad.***

Actividades

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Evaluar áreas que potencialmente puedan identificarse como área de conservación de la biodiversidad.	Identificar propiedades específicas y a sus propietarios.	Datos analizados para identificar áreas con alto valor de biodiversidad y evaluar la condición ecológica de posibles áreas de conservación.	Líder: DRNA Socios implementadores: Estuario y municipios	Pendiente	0-2 años	TBD	DRNA, USEPA, municipios
2. Desarrollar planes para incentivar el mantenimiento adecuado de las propiedades.	Establecer indicadores medibles para orientar a los propietarios sobre el mantenimiento adecuado.	Planes de incentivos finalizados con aportaciones de las partes interesadas.	Líder: DRNA Socios implementadores: Estuario y municipios	Pendiente	3-5 años	TBD	DRNA, USEPA, municipios
3. Implementar los planes desarrollados para incentivar la biodiversidad y establecer protocolos de monitoreo y mantenimiento.	Mejorar la biodiversidad y la información recopilada mediante el monitoreo.	Recursos necesarios asegurados para llevar a cabo las actividades de mejora.	Líder: DRNA Socios implementadores: Estuario y municipios	Pendiente	Más de 5 años	TBD	DRNA, USEPA, municipios
4. Educar al público para aumentar el uso de especies nativas con fines ornamentales.	Aumentar la conciencia pública sobre el uso de especies nativas y su función ecológica.	Directrices establecidas para el uso de especies nativas.	Líder: DRNA Socios implementadores: Estuario y USFS	Pendiente	0-2 años	TBD	USFS

Requisitos regulatorios y de política pública

El establecimiento y reconocimiento, o requisito, de uso de plantas "Puerto Rico Friendly" en los permisos de construcción puede ayudar a respaldar esta acción. Además, el establecimiento de ordenanzas locales para prohibir fertilizantes y otras prácticas de manejo puede contribuir a este esfuerzo.

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.

- Brandeis, T. J., F. J. Escobedo, C. L. Staudhammer, D. J. Nowak y W. C. Zipperer. 2014. San Juan Bay Estuary Watershed urban forest inventory. Página 44. USDA Forest Service, Southern Forest Experiment Station, General Technical Report SRS-190, Asheville, NC.
- Bruun, P. 1962. Sea level rise as a cause of shore erosion. *Journal of Waterways and Harbours Division ASCE* 88: 117–130.
- De Jesús Crespo, R. y A. Ramírez. 2011. Effects of urbanization on stream physiochemistry and macroinvertebrate assemblages in a tropical urban watershed in Puerto Rico. *Journal of the North American Benthological Society* 30.
- Estuario. 2016. Plan Integral de Manejo y Conservación del Estuario de la Bahía de San Juan.
- Estuario. 2000. Comprehensive Conservation and Management Plan.
- Fish, M. R., I. M. Cote, J. A. Gill, A. P. Jones, S. Renshoff y A. Watkinson. 2005. Predicting the impact of sea level rise on Caribbean Sea turtles nesting habitat. *Conservation Biology* 19: 482–491.
- Govender, Y. 2019. Long-term monitoring of crab *Cardisoma guanhumi* (Decapoda: Gecarcinidae) captures in Jobos Bay Estuary, Puerto Rico. *Revista de Biología Tropical* 67(4): 879–887.
- Harris, L. E. 2009. Artificial reefs for ecosystem restoration and coastal erosion protection with aquaculture and recreational amenities. *Reef Journal* 1: 235–246.
- LG2 Environmental Solutions Inc. y CSA Ocean Sciences Inc. 2021. San Juan harbor mitigation sand source, San Juan Puerto Rico. Benthic resource survey. CSA-LG2-FL-21-81695-3687-04-rep-01-VER01, Stuart, FL.
- Lugo, A. E. y Bauzá-Ortega, J. F. 2024. Estuario de la Bahía de San Juan: Historia y oportunidades de investigación. Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos.
- Lugo, A. E., O. M. Ramos González y C. Rodríguez Pedraza. 2011. The Río Piedras watershed and its surrounding environment. USDA Forest Service FS-980, Washington, DC.
- Wenger, A. S., E. Harvey, S. Wilson, C. Rawson, S. J. Newman, D. Clarke, B. J. Saunders, N. Browne, M. J. Travers, J. L. McIlwain, P. L. A. Erfemeijer, J. P. A. Hobbs, D. Mclean, M. Depczynski y R. D. Evans. 2017. A critical analysis of the direct effects of dredging on fish. *Fish and Fisheries*.

Política pública para el manejo de ecosistemas basado en la resiliencia

Trasfondo

La Ley Núm. 112 estableció en 2013 la Reserva Natural Estuarina de la Laguna del Condado. Mediante la creación de una comisión para el manejo comunitario y un plan de conservación para orientar los esfuerzos de desarrollo y conservación, esta ley establece un enfoque de gestión de ecosistemas basado en la resiliencia dentro de la estructura legislativa de Puerto Rico.

Existen numerosas áreas naturales protegidas y bosques urbanos dentro del EBSJ, según se presenta en la Tabla 3. Estas áreas proporcionan refugio crítico para especies amenazadas y en peligro de extinción, espacios verdes dentro de los centros metropolitanos y oportunidades educativas sobre soluciones basadas en la naturaleza. El Bosque Estatal de Piñones es uno de los primeros ejemplos de reconocimiento de la preservación de espacios naturales en Puerto Rico. Ubicado al este de la laguna La Torrecilla y hogar del bosque de manglar más grande de Puerto Rico, el área ha sido un objetivo principal para proyectos de desarrollo a gran escala desde la década de 1970. La comunidad local ha detenido múltiples proyectos hoteleros en el área. Recientemente, la alcaldesa Julia Nazario Fuentes expresó: “En Loíza creemos en el desarrollo, pero un desarrollo sustentable, en total armonía con el ambiente, que genere empleos para nuestra gente. La fórmula debe mejorar la infraestructura colectiva y tiene que haber un componente de compromiso social” (Periódico El Sol de Puerto Rico, 2025). Este es un excelente ejemplo de preservación y manejo de ecosistemas naturales en lo que de otra manera habría cedido ante la expansión urbana oriental del área metropolitana de San Juan. La conectividad de estos espacios es importante para permitir que las especies se desplacen sin la amenaza de los centros urbanos. El Corredor Ecológico de San Juan se estableció en 2003 para proveer esta conectividad.

Tabla 1 . Lista de áreas naturales protegidas y bosques urbanos dentro del EBSJ.

Nombre	Año de establecimiento
Bosque Estatal de Piñones	1919
Jardín Botánico de la Universidad de Puerto Rico	1971
Reserva Natural de la Ciénaga Las Cucharillas	1976
Bosque Estatal de San Patricio (Bosque Urbano San Patricio)	1998
Área de Conservación del Karso	1999
Bosque Urbano del Nuevo Milenio	2003
Bosque Urbano Doña Inés Mendoza	2003
Corredor Ecológico de San Juan	2003
Reserva Natural Caño Martín Peña	2003
Antiguo Acueducto del Río Piedras	2006
Área Natural Protegida Los Frailes	2006
Área Natural Protegida Hermanas de Sendra	2011
Reserva Natural Estuarina de la Laguna del Condado	2013
Reserva Marina Arrecife de la Isla Verde	2014
Zona de amortiguamiento del río ciénaga Las Cucharillas	No aplica

Los arrecifes de coral son ecosistemas críticos que proveen numerosos beneficios ecológicos, económicos y sociales en el EBSJ. Las comunidades coralinas contribuyen significativamente a la biodiversidad marina y al funcionamiento general de los ambientes costeros. Las comunidades de coral del EBSJ se encuentran en diversos lugares, con mayor presencia en las áreas donde el estuario se conecta con el océano. Algunos

lugares clave son el área del puente Dos Hermanos en Condado, el sector Boca de Cangrejos en La Torrecilla y la franja costera desde Cataño hasta Loíza (Rodríguez et al., 1992). Estas áreas se caracterizan por una mezcla única de influencias estuarinas y marinas, que sostienen diversas especies de coral. Un segmento de esta cadena de arrecifes de coral costeros está protegido como parte de la Reserva Marina Arrecife de la Isla Verde, donde se encuentran dos especies de corales formadores de arrecifes amenazadas: *Acropora palmata* (coral cuerno de alce) y *Orbicella annularis* (coral estrella de roca). La protección de estas especies es crucial, ya que desempeñan un papel importante en la estructura y función del arrecife.

En 2008, Estuario inició un proyecto para aumentar la biodiversidad marina mediante la colocación de 45 arrecifes artificiales en el fondo de la Laguna del Condado. El objetivo de esta iniciativa fue crear un corredor submarino que apoyara la vida marina. En dos años de construcción, el proyecto documentó 49 especies de peces, y la población de peces en esta parte de la laguna se había duplicado. Además, aproximadamente 2,500 colonias de coral crecen ahora sobre las superficies de estos arrecifes artificiales, demostrando el potencial de restauración y mejora de hábitat en el EBSJ (Bauzá-Ortega, 2015).

Los arrecifes de coral son un componente vital del sistema del EBSJ, ya que proveen servicios ecológicos esenciales y sostienen una diversidad de vida marina. Sin embargo, se encuentran cada vez más amenazados por factores de estrés ambiental y actividades humanas. Comprender la dinámica específica de los arrecifes de coral en esta cuenca es determinante para que las partes interesadas implementen estrategias de conservación efectivas. Priorizar las comunidades coralinas, identificar y designar áreas marinas protegidas, y crear e implementar planes de manejo en estas áreas, puede ayudar a asegurar la resiliencia de estos ecosistemas y los múltiples beneficios que brindan al EBSJ.

Objetivos

- Fortalecer la política pública que apoye el manejo de los ecosistemas basado en la resiliencia.
- Aumentar el número de áreas naturales protegidas.

Acciones

***NUEVO* FE-21 Completar un inventario de las áreas naturales protegidas en la región metropolitana de San Juan y asegurar que cada una cuente con un Plan Integral de Manejo y lo implemente.**

Actividades

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Revisar los planes de manejo existentes, en coordinación con las partes interesadas locales, para evaluar su efectividad e identificar vacíos o áreas que requieran mejoras.	Aumentar la comprensión de las amenazas a la biodiversidad en las áreas naturales protegidas.	Necesidades y vacíos en los planes de manejo existentes analizadas.	Líder: DRNA, USFWS Socios implementadores: Estuario, municipios, academia, comunidad científica, ONG medioambientales y consultores	Pendiente	3-5 años	TBD	DRNA, USEPA, NOAA, municipios
2. Desarrollar o actualizar planes integrales de manejo para cada área protegida.	Asegurar que los planes de manejo cumplan con las regulaciones y políticas ambientales.	2. Planes integrales de manejo para cada área protegida desarrollados o actualizados.	Líder: DRNA, USFWS Socios implementadores: Estuario, municipios, grupos comunitarios, academia, comunidad científica, ONG medioambientales y consultores	Pendiente	Más de 5 años	TBD	DRNA, USEPA, NOAA, municipios

Requisitos regulatorios y de política pública

Esta acción requerirá que las áreas protegidas establecidas reciban el financiamiento necesario para el manejo del área conforme a los mandatos legislativos que las crearon.

FE-22 Evaluar la viabilidad de designar el área Torrecilla Alta-Vacía Talega como parte de la Reserva Natural del Bosque Estatal de Piñones.

Actividades

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Realizar una evaluación ecológica y de propiedad detallada de Torrecilla Alta-Vacía Talega.	Evaluar la titularidad, condición, valoración y calidad de los distintos tipos de hábitat dentro del área.	Evaluación ecológica finalizada.	Líder: DRNA Socios implementadores: Estuario, municipios, academia y comunidad científica	Pendiente	0-2 años	TBD	DRNA
2. Desarrollar una propuesta formal para la designación.	Incluir los hallazgos detallados de la evaluación ecológica que respalden la necesidad de la designación.	Propuesta de designación finalizada.	Líder: DRNA Socios implementadores: Estuario y municipios	Pendiente	3-5 años	TBD	DRNA
3. Colaborar con las partes interesadas para orientar los procesos regulatorios.	Mejorar el conocimiento de las partes interesadas sobre los requisitos y procesos regulatorios.	Colaboración establecida con las partes interesadas para recopilar y redactar la documentación necesaria.	Líder: DRNA Socios implementadores: Estuario, municipios y organismos reguladores	Pendiente	3-5 años	TBD	DRNA

Requisitos regulatorios y de política pública

Esta acción requerirá una gestión legislativa para designar el área como parte de la Reserva Natural del Bosque Estatal de Piñones. Será necesario contar con personas y grupos impulsores en las comunidades locales y en la legislatura para lograr esta designación.

FE-23 Identificar áreas en el EBSJ que serán designadas como áreas marinas protegidas y continuar con los proyectos de restauración de arrecifes de coral.

Actividades

Actividad	Métricas	Hitos	Partes interesadas y socios responsables	Estatus	Cronograma	Costos estimados	Posibles fuentes de financiamiento
1. Realizar una evaluación ecológica detallada para identificar hábitats críticos, zonas de alta biodiversidad y áreas que se beneficiarían de protección.	Evaluar la condición y estabilidad de los hábitats identificados.	Datos analizados para identificar hábitats críticos y zonas de alta biodiversidad.	Líder: DRNA Socios implementadores: Estuario, NOAA, municipios, academia, comunidad científica, ONG medioambientales y consultores	Pendiente	0-2 años	TBD	DRNA, USEPA, NOAA
2. Implementar proyectos de restauración de arrecifes y corales, y crear un marco de monitoreo y evaluación para determinar su efectividad.	Aumentar las poblaciones de peces e invertebrados asociados con arrecifes restaurados.	Programa regular de monitoreo establecido para evaluar el crecimiento, la condición y la biodiversidad asociada de los corales.	Líder: DRNA Socios implementadores: Estuario, NOAA, academia, comunidad científica, ONG medioambientales y consultores	Pendiente	3-5 años	TBD	DRNA, USEPA, NOAA

Requisitos regulatorios y de política pública

Se requerirá acción legislativa para designar áreas marinas protegidas. Será necesario contar con personas y grupos impulsores en las comunidades locales y en la legislatura para lograr esta designación. El éxito requerirá apoyo de funcionarios municipales y estatales para asegurar que los corales existentes permanezcan y que el nuevo desarrollo incorpore elementos que puedan mejorar y apoyar el crecimiento de nuevos corales, sostener la calidad de los sedimentos y proporcionar hábitat para la vida marina.

FE-24 Aprobar un plan de manejo para el Corredor Ecológico de San Juan.

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 y necesidades ecológicas existentes en coordinación con las partes interesadas y las comunidades locales.	Documentar con claridad los vacíos de datos ecológicos existentes.	Revisión exhaustiva realizada sobre estudios, informes y bases de datos existentes.	Líder: DRNA Socios implementadores: Estuario, municipios y grupos comunitarios	Pendiente	0-2 años	TBD	DRNA, USEPA, NOAA, municipios
2. Redactar el plan de manejo.	Incorporar efectivamente comentarios y sugerencias.	Borrador del plan de manejo finalizado.	Líder: DRNA Socios implementadores: Estuario, municipios, grupos comunitarios	Pendiente	3-5 años	TBD	DRNA, USEPA, NOAA, municipios
3. Implementar el plan de manejo, incluyendo la adquisición de terrenos en el Corredor Ecológico de San Juan.	Fortalecer la conciencia y el apoyo de las partes interesadas en el plan de manejo y la compra de terrenos.	Plan de manejo finalizado.	Líder: DRNA Socios implementadores: Estuario y municipios	Pendiente	3-5 años	TBD	DRNA, USEPA, NOAA, municipios

Requisitos regulatorios y política pública

En 2024, mediante ley se estableció el requisito de que el DRNA prepare un Plan de Manejo de Conservación (12 L.P.R.A. § 216i). La ley requirió que el DRNA estableciera un comité y le suministrara materiales y espacio de oficina. El DRNA debía preparar un Plan Integrado para la Conservación y Manejo en coordinación con el comité.

Referencias

Bauza-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.

Estuario. 2025. Áreas naturales protegidas y bosques urbanos.

Rodríguez, R. W., R. M. T. Webb, D. M. Bush y K. M. Scanlon. 1992. Marine geological map of the north insular shelf of Puerto Rico—río de Bayamón to río Grande de Loíza. Miscellaneous Investigations Series. Map 1-2207 (sheet 1 of 2). US Geological Survey, Denver, CO.

Periódico El Sol de Puerto Rico. 22 de julio de 2025. Firme la alcaldesa de Loíza en la posición del Municipio sobre proyectos de desarrollo.

ENSURE FUNCTIONING ECOSYSTEMS

ECOSYSTEM FUNCTIONS, SERVICES, AND BASELINE CONDITIONS

BASELINE

The San Juan Bay Estuary (SJBE) is home to a variety of species including more than 160 birds, 300 plants, 87 fish, and 20 amphibians and reptiles. At least 16 of these species are considered endangered, threatened, endemic to Puerto Rico, and/or rare (U.S. Environmental Protection Agency [USEPA], 2025). Estuary ecosystems are ecotones or transitional zones with a complex mix of salt and freshwater that enriches its biodiversity. The unique mix of these two environments provides for a wide range of conditions for organisms to seek opportunities to outcompete others as tides ebb and flow, rains come and go, and storms create rapid changes to this complex environment. Normally, this dynamic environment creates a sustainable diversity of species; however, when extreme events and pollutants alter the ecosystem, infectious bacteria, harmful algal blooms, and introduced species may become opportunistic in dominating the environment. The human development in the uplands and improper disposal of wastes have drastically changed ecosystem function, ecological services, and conditions in the SJBE.

Infrastructure needs are outlined in the Maintain and Improve Aging and Failing Gray and Green Infrastructure that Negatively Affects Water and Bottom Sediment Quality Action Plan, which also identifies actions that will be required to restore the conditions in the SJBE. While sewer systems, stormwater systems, and port and harbor infrastructure are visible and more easily recognized by most people, ecosystem function and biodiversity are less tangible. Furthermore, the complexity and effect of ecological services are difficult to quantify. Ecological services are the benefits that humans derive from ecosystems as well as the benefits that organisms within the ecosystem can provide to improve environmental quality. These include direct benefits, such as food and commodities, but also greenspace and improvements to water and air quality. In SJBE, these ecological services include fisheries, leisure activities, carbon sequestration, and sediments and benthic organisms' ability to retain nutrients to improve water quality. As the SJBE biodiversity declines, so do the ecological services.

The San Juan Bay Estuary Program Ecological Assessment – Biological Community and Habitat Characterization Report (Puerto Rico Department of Natural and Environmental Resources [DNER], 1997) provided a complete assessment of the biological community in 1995, with habitats divided into ten types. A historical perspective of the estuary was evaluated to establish a "benchmark time period" as a reference to the ecological baseline. While changes to the ecology of the estuary date back to the 1700s, significant changes to the system were not made until the mid-1800s and early 1900s.

An inventory of urban forests in the SJBE was completed in 2001 and 2011 and reported in the San Juan Bay Urban Forest Inventory (U.S. Department of Agriculture [USDA], 2014). This is a comprehensive inventory of the plant species found in the SJBE watershed, population and coverage of those species, and change in time from 2001 to 2011. This inventory also documented the land use over the same time period. This study identified an increase in commercial/industrial/transportation and wetland/water/ agriculture land uses over the ten-year period, and a decrease in institution/park, mangrove forest, moist forest, and vacant land uses, suggesting developed lands had taken over natural and green land use in the period from 2001 to 2011. Given this change in land use, one would anticipate a similar change in the coverage and population of the natural vegetation; however, this did not seem to be the case. There was a significant increase in tree and shrub cover in each land use category and nearly double the stored carbon, suggesting a general shift towards greener land use, and/or more mature plant species over the ten-year period. The study identified

that the number and species richness of the species also increased in every land use category except institution/parks. This increase in plant coverage provides a significant benefit for ecological services, due to sequestration of carbon, green space, recreational opportunities, and ecological refuge (USDA, 2014).

Seagrass and benthic studies have been conducted for specific areas and projects over the past 20 years. These studies include Condado Lagoon (Tetra Tech, 2011), but no comprehensive inventory has been compiled or compared through time. These data may inform management and trends for other species, such as the Antillean manatee. The Antillean manatee was formerly a subspecies of the West Indian manatee and is now a separate species (USFWS, 2024). In January 2025, the U.S. Fish and Wildlife Service (USFWS) proposed to remove the West Indian manatee from the threatened species list and add the Florida manatee (the other West Indian manatee subspecies) to the list as threatened and the Antillean manatee as endangered. The water quality and habitat destruction as well as increased severe storm activity and marine traffic have increased pressure on this species population (USFWS, 2024).

Noise pollution is another potential concern for manatees and other species in the SJBE (U.S. Geological Service [USGS], 2011). Harm to dolphins and whales from sonar and loud noises are well documented, but the effects on other organisms in the SJBE are not well understood. A recent study in Jobos Bay National Estuarine Research Reserve found that mangroves may be an effective natural barrier to anthropogenic noise (Castro-Rivera, 2024). As urban noise pollution is an increasing problem, mangroves may provide a valuable nature-based mitigation solution.

Urban light pollution is another growing issue that affects nesting sea turtles and limits the natural visibility of the night sky. Both direct light in the nesting areas and sky glow and glare can affect sea turtles. Reducing new light sources, ensuring lights are off when not needed, reducing the amount of lit area, and retrofitting existing light sources with full cutoff and mounted as low to the ground as possible may reduce the issues for sea turtles. These measures will also reduce energy needs and improve visibility of the natural night sky. When light sources are in direct line to sea turtle nesting areas, "turtle friendly" lighting should be used.

SJBE benthic systems are affected by water and sediment quality from anthropogenic activities in the high-density San Juan metropolitan area. Sediment quality is driven by dynamic circulation from dredging and filling, erosion and sedimentation from uplands, and bottom sediment resuspension (Estuario, 2000).

Historically, the bathymetry in portions of lagoons have been altered to allow for improved navigation. These alterations have had a significant effect on the ecological systems to the interconnected lagoons and channels that comprise much of the waterbody system. This has led to changes in water turnover from tidal influx due to increased depth from dredging. Additionally, hydrological alterations in the watershed such as proliferation of impervious surfaces, stream channelization, and alterations to watershed topography has increased stormwater discharge into the SJBE receiving waterbodies. This increase in urban runoff carries with it higher concentrations of pollutants of concern that directly affect benthic systems (Lugo and Bauzá-Ortega, 2024). The figure below depicts water flows for dry weather conditions in the SJBE.

Not all benthic systems are affected equally by environmental changes. Ramirez et al. (2012) theorized that the high proportion of diadromous fish, which have the ability to migrate between the ocean and freshwater, are able to continuously colonize urban streams and maintain populations if their associated marine environment is not severely degraded (Ramirez, 2012).

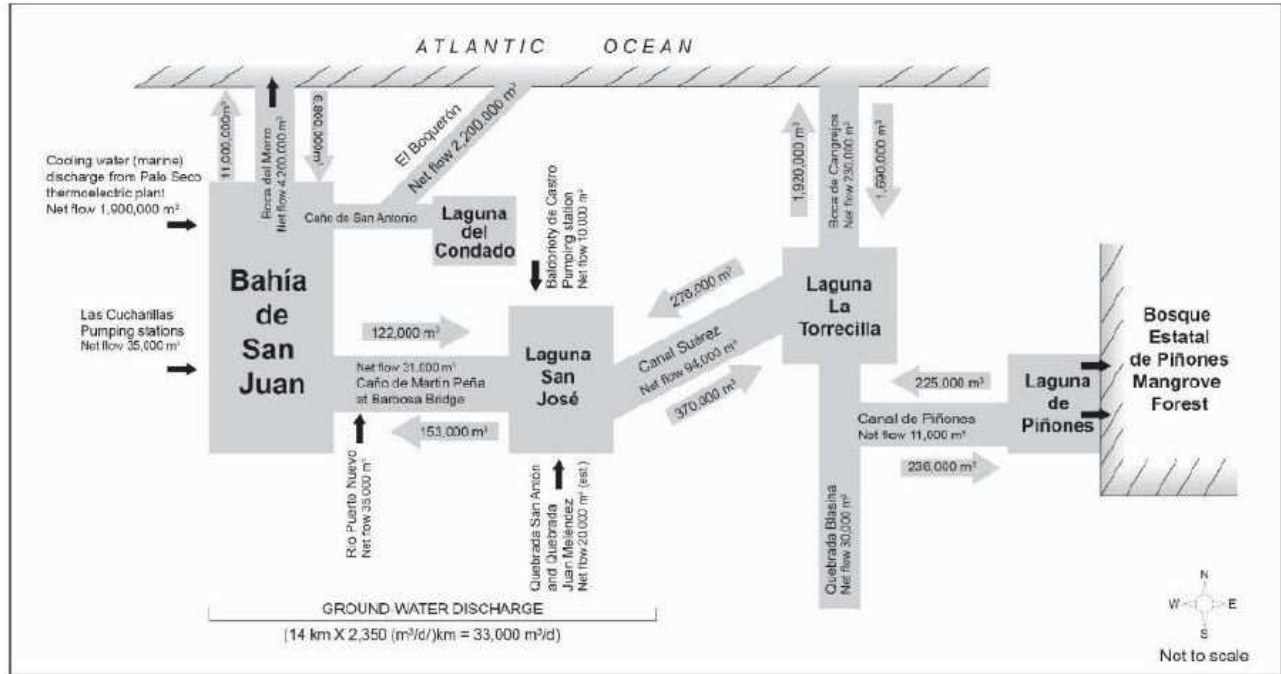


Figure 25. Average daily water flows for dry weather conditions in the San Juan Bay Estuary (Webb and Gómez Gómez 1998). This is a more comprehensive version of Figure 17. Reversing tidal flows dominate unidirectional flow. Flow from río Grande de Loíza into the mangroves is not shown.

From: Lugo and Bauzá-Ortega, 2024

Anthropogenic activities, such as wastewater treatment system discharges, are estimated to have a combined yield that is four times higher than other urban and rural-agricultural watersheds in Puerto Rico (Ortiz-Zayas et al, 2006). Benthic communities on the lagoon bottom were negatively affected by this increase in nutrient-rich urban runoff and wastewater treatment systems discharge, which overwhelmed the biotic capacity to process the nutrients leading to algal blooms that further distress benthic communities (Ortiz-Zayas et al, 2006).

OBJECTIVES

- Thoroughly understand novel ecosystems and their ecosystem services.
- Eliminate light pollution in the estuarine system, particularly along coastlines.
- Determine how noise pollution may affect estuarine organisms.

ACTIONS

**NEW* FE-01 COMPLETE A BIODIVERSITY (FLORA AND FAUNA) INVENTORY OF ECOLOGICAL SYSTEMS*

ACTIVITIES

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

1. Continue to update and improve the Estuario species inventory.	Update the tables and report <i>List of the Flora and Fauna of the San Juan Bay Estuary System</i> (December 1996).	Updated species inventory.	Lead: Estuario Implementing partners: U.S. Army Corps of Engineers (USACE), National Marine Fisheries Service (NMFS), USFWS, DNER, municipalities, Conservation Trust of Puerto Rico, private conservation groups	Ongoing	0-2 years	TBD	DNER, USEPA
2. Integrate biodiversity considerations into planning and land use decisions.	Provide metrics for biodiversity in planning documents and evaluate effects on biodiversity in land use decisions.	Created metrics and evaluated effects on biodiversity.	Lead: Estuario Implementing partners: DNER, municipalities, Conservation Trust of Puerto Rico, private conservation groups, Planning Board	Pending	0-2 years	TBD	DNER, municipalities

REGULATORY AND POLICY REQUIREMENTS

Integration of biodiversity into planning and land use decisions will require advocacy to ensure biodiversity is a consideration for all planning documents and land use decisions in and around the SJBE.

FE-02 RECOVER THE ANTILLEAN MANATEE POPULATION WITHIN THE SJBE AND ESTABLISH MANATEE PROTECTION AREAS.

ACTIVITIES

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Perform surveys and use a network of public informers to document sightings and establish the total number of manatees within the SJBE system.	Complete data collection on the number of manatees that use the SJBE system.	Completed survey with locations and counts of manatee sightings.	Lead: DNER Implementing partner: USFWS	Pending	0-2 years	TBD	DNER
2. Establish manatee protection areas.	Manatee refuges and/or manatee sanctuaries are established and regulated to enforce boat use and speeds.	Created and enforced manatee protection areas.	Lead: USFWS Implementing partners: DNER, U.S. Coast Guard	Pending	0-2 years	TBD	USFWS
3. Continue Species Status Assessment Report for the Antillean Manatee.	Status Assessment Report for the Antillean Manatee completed every 5 years.	Completed the Species Status Assessment Report for the Antillean Manatee.	Lead: USFWS Implementing partners: DNER, U.S. Coast Guard	Ongoing	5+ years	TBD	USFWS

REGULATORY AND POLICY REQUIREMENTS

There are state regulated speed zones but increased enforcement is required. There are currently no manatee protection areas in Puerto Rico; however, USFWS has the authority to establish these areas for manatee refuge or sanctuaries. A manatee refuge is as an area where some waterborne activities and other restrictions are put in place to prevent the taking of a manatee. A manatee sanctuary is an area in which all waterborne activities are prohibited. Like the state regulated speed zones, once established these areas will require enforcement (USFWS, 2024).

**NEW* FE-03 REDUCE ANTHROPOGENIC NOISE AND LIGHT SOURCES IN THE SJBE WATERSHED TO PROTECT ESTUARINE ORGANISMS.*

ACTIVITIES

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Study how noise and light affect estuarine organisms in the SJBE system.	Obtain a more complete understanding of how noise and light affect estuarine organisms.	Improved understanding of effects of noise and light on estuarine organisms in the SJBE.	Lead: Estuario Implementing Partners: USACE, NMFS, USFWS, DNER	Pending	3-5 years	TBD	National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)
2. Prepare an exterior light management plan for the SJBE.	Prepare an exterior light management plan for the SJBE and have municipalities enforce the actions through local ordinance.	Prepared a light management plan for the SJBE and municipal ordinances in place.	Lead: Estuario Implementing Partners: Municipalities, NMFS, NOAA, USFWS, DNER	Pending	3-5 years	TBD	NOAA, DNER

REGULATORY AND POLICY REQUIREMENTS

Noise ordinances in the municipal areas need to be enforced to reduce anthropogenic noise around the SJBE. Percussive and other loud noises should also be considered in permit approval for construction in and around the SJBE. Municipalities should adopt turtle friendly lighting practices, and consider ordinances to eliminate direct lighting to the coastal sea turtle nesting areas, and reduce the sky glow.

**NEW* FE-04 SUPPORT RESEARCH TO BETTER UNDERSTAND BENTHIC COMMUNITY DYNAMICS WITHIN THE SJBE WATERSHED. ADAPTATION*

ACTIVITIES

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

1. Establish partnerships with local universities and research institutions and organize workshops and training sessions to study benthic communities.	Set up meetings and forums for partners to meet and collaborate.	Established partnerships established and developed standardized methodologies.	Leads: Estuario, NOAA Implementing partners: University of Puerto Rico, Ponce Health Sciences University. Caribbean Coral Reef Institute, NMFS, Caribbean Fisheries Management Council, USFWS	Pending	0-2 years	TBD	NOAA
2. Identify stakeholders and funding sources for priority research.	Continue expansion of forums and meetings with partners to identify sources of funding.	Identified sources of funding.	Lead: Estuario Implementing Partners: University of Puerto Rico, Ponce Health Sciences University. Caribbean Coral Reef Institute, NMFS, Caribbean Fisheries Management Council, USFWS, NOAA	Pending	3-5 years	TBD	NOAA, USACE
3. Use research findings to inform management practices and policy decisions.	Continue expansion of forums and meetings with partners to present research findings and train partners.	Presented management practices and policy decisions to partners.	Lead: Estuario Implementing Partners: DNER, USACE, NOAA, NMFS, USFWS	Pending	5+ years	TBD	NOAA, USACE

REGULATORY AND POLICY REQUIREMENTS

Funding is required to continue research and drive data to fully understand the benthic community and the ecological services they provide for supporting ecology and water quality.

**NEW* FE-05 GATHER DATA ON CRITICAL HABITATS AND SPECIES FOR PROTECTION IN THE PROPOSED 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 on critical habitats and species in the proposed expanded study area including locations and conditions.	Gather information about habitats and species in the proposed expanded study area.	Completed study with data to develop plans.	Lead: Estuario Implementing partners: DNER, municipalities, academia, scientific community	Pending	0-2 years	TBD	USEPA, USFWS, U.S. Forest Service (USFS)

2. Develop maps showing the results of the habitat and species study in the proposed expanded study area.	Improve information on location and condition of critical habitats and species.	Developed maps showing habitats and species.	Lead: Estuario Implementing partners: DNER municipalities, academia, scientific community	Pending	3-5 years	TBD	USEPA, USFWS, USFS
3. Use the study results to identify projects and management strategies for critical habitats and species in the proposed expanded study area.	Improve condition of critical habitat and species in the proposed expanded study area.	Prepared project and management strategies list to improve habitat and species.	Lead: Estuario Implementing partners: DNER municipalities, academia, scientific community	Pending	5+ years	TBD	DNER, USEPA, municipalities

REGULATORY AND POLICY REQUIREMENTS

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

REFERENCES

Castro-Rivera, Francisco, Colon-Davila, Luis, Foresier-Montalv, David, and Rios-Franceschi, Alejandro. 2024. *Effects of the Aguirre Power Plant on the Marine Soundscape: a New Mangrove Function in Jobos Bay National Estuarine Research Reserve, Puerto Rico: a Preliminary Study*. Caribbean Journal of Science.

Diaz, E., Connor Cerezo, C., Amador, M.J., Dragoni, A., Pagés, F., Rodríguez, M., Feliciano, V., Almodovar, B., Courtney, C., Green, G., Haeker, J., Parks, J., Rolli, C. 2021. *Strategic Implementation Plan for Catalyzing a Blue Economy for the US Caribbean*. Prepared by Tetra Tech, Inc. for Bluetide Puerto Rico, Inc. Funded by the U.S. Economic Development Administration.

DNER. 1997. *San Juan Bay Estuary Program Ecological Assessment - Biological Community and Habitat Characterization Report*.

Estuario. 2016 *Comprehensive Conservation and Management Plan for the San Juan Bay Estuary*. Estuario de la Bahia de San Juan.

Estuario. 2000. *Comprehensive Conservation and Management Plan*.

Herrera, Luis Jorge Rivera. 1996. *List of the Flora and Fauna of the San Juan Bay Estuary System*. Prepared for the San Juan Bay Estuary Program.

Lugo, A.E. and Bauzá Ortega, J.F. 2024. *San Juan Bay Estuary: Research History and Opportunities*. U.S. Environmental Protection Agency.

Ortiz-Zayas, J. R., E. Cuevas, O. L. Mayol Bracero, L. Donos, I. Trebs, D. Figuero Nieves, and W. H. McDowell. 2006. Urban influences on the nitrogen cycle in Puerto Rico. *Biogeochemistry*.

Ramirez, A., A. Engman, K.G., Rosas, O. Perez Reyes, and D. M. Martino Cardona. 2012. Urban impacts on tropical island streams: some key aspects influencing ecosystem response. *Urban Ecosystems*.

Tetra Tech. 2011. *Condado Lagoon Water Quality Improvement and Seagrass Restoration Project – Bathymetric, benthic Community and Sediment Compatibility Baseline investigations – Final Draft*. Tetra Tech, prepared for San Juan Bay Estuary Program.

USDA. 2014. *San Juan Bay Estuary Watershed Urban Forest Inventory*.

USGS. 2011. Behavioral response of manatees to variations in environmental sound levels. *Marine Mammal Science*. doi: 10.1111/j.1748-7692.2010.00381.x.

USEPA. 2025. San Juan Bay Estuary Program.

<https://storymaps.arcgis.com/stories/851e3c49e8584f9aa7a0c8b516299a6e>.

USFWS. 2024. Species status assessment report for the Antillean manatee (*Trichechus manatus manatus*), Version 1.1. May 2024. Atlanta, GA.

RESILIENCE-BASED ECOSYSTEM MANAGEMENT

BASELINE

The SJBE is a highly dynamic and complex ecosystem that integrates diverse coastal and urban habitats, such as mangroves, seagrasses, coral reefs, riparian corridors, beaches, beach thickets, sand dunes, and upland moist forests. Each of these habitats plays a distinct yet interconnected role in maintaining the ecological resilience of the estuary. However, the SJBE is increasingly challenged by the cumulative effects of urbanization, industrial development, pollution, habitat loss, and altered hydrology, all threats that undermine ecosystem functions, degrade water quality, and jeopardize the social and economic well-being of dependent communities (Lugo and Bauzá-Ortega, 2024).

These challenges underscore the urgent need for a resilience-based ecosystem management approach that comprehensively addresses the interdependencies among habitats, improves ecological quality, and ensures that ecosystems are managed according to their conservation designations. The complexity of SJBE's ecosystems demands a management framework that transcends isolated actions or single-issue responses and instead fosters cross-sector collaboration, science-based restoration, and adaptive strategies that can respond to ongoing environmental change.

SJBE's habitats function as interconnected ecological networks. Mangrove forests, for example, not only stabilize shorelines and sequester carbon but also provide essential nursery grounds for fish and shellfish species, including the blue land crab (*Cardisoma guanhumí*), which has experienced population declines due to overfishing and habitat degradation (Govender, 2019; Bauzá-Ortega, 2015). Seagrass beds function as underwater corridors linking mangroves with coral reefs and support over 150 aquatic species, including endangered fauna such as the Antillean manatee and green sea turtle (Bauzá Ortega, 2015; LG2 Environmental Solutions and CSA Ocean Sciences, 2021). Coral reefs and artificial habitats enhance biodiversity and fish abundance, providing critical ecosystem services and recreational opportunities (Wenger et al., 2017; Harris, 2009).

Riparian corridors connect terrestrial and aquatic ecosystems, offering habitat diversity and supporting water quality, yet these corridors are vulnerable to canalization and urban encroachment, which fragment habitats and reduce ecological functions (Lugo et al., 2011; de Jesús Crespo and Ramírez, 2011). Coastal features such as beaches, beach thickets, and sand dunes provide buffers for storms and habitat for unique flora and fauna, but they face accelerated erosion and "coastal squeezing" due to sea level rise and human disturbance (Lugo and Bauzá-Ortega, 2024; Bruun, 1962; Fish et al., 2005).

The interdependence of these habitats means that degradation or loss in one area cascades through the system, reducing overall resilience. For example, mangrove deforestation or altered tidal flows can diminish fish nursery habitats, reduce sediment trapping, and impair water quality downstream. Likewise, loss of seagrass beds can increase sediment resuspension and turbidity, further stressing coral reefs and benthic communities. Recognizing and managing these links is fundamental to sustaining the estuary's ecological functions and the services they provide.

The SJBE system is subject to multiple, interacting stressors. Urbanization and industrial development introduce pollutants, nutrients, heavy metals, and trash that impair water quality and aquatic life (USEPA, 2009). Infrastructure development alters hydrology, disrupting tidal flows and sediment transport, which leads to sediment accumulation and habitat degradation.

These overlapping threats reduce the estuary's capacity to absorb disturbances and recover, which are fundamentally core aspects of resilience. Without strategic, integrated management, the cumulative effects erode biodiversity, compromise ecosystem services, and threaten the livelihoods of local fishing, tourism, and coastal communities.

Integrated ecosystem management embraces the complexity of the SJBE system by coordinating across habitat types, sectors, and stakeholders to enhance connectivity, ecological functions, and adaptive capacity. This approach includes science-based habitat restoration, such as the deployment of artificial reefs that provide shoreline protection while enhancing habitats and supporting aquaculture and recreation (Harris, 2009). It prioritizes the conservation and restoration of mangroves, seagrasses, and riparian corridors to maintain critical ecosystem services and biodiversity (Bauzá-Ortega, 2015; Lugo and Bauzá-Ortega, 2024).

Moreover, integrated management recognizes the importance of managing ecosystems according to their designated ecological roles and regulatory frameworks, including species-specific protections like those for the blue land crab (*Cardisoma guanhumi*) (Govender, 2019). Adaptive management strategies are vital to respond effectively to ongoing and future environmental changes, such as sea level rise-induced habitat migration and storm-driven sediment dynamics (Bruun, 1962; Estuario, 2016).

Integrated ecosystem management also recognizes critical species in the SJBE. There are 17 plant species considered critical, including Arana (*Schoepfia arenaria*) and Cobana Negra (*Stahlia monosperma*), which are listed as endangered and threatened, respectively by the USFWS and DNER. The Torrecilla – Vacía Talega – Piñones area serves as habitat for 11 critical plant species, of which four are endemic and eight are not found anywhere else in the system. Four other critical species are restricted exclusively to Las Cucharillas Marsh: two vines (Whitejacket [*Aniseia martinicensis*] and hog slip [*Ipomoea tiliacea*]) and two herbaceous species (John Charles [*Hyptis verticillata*] and Egger's nutrush [*Scleria eggersiana*]). Most of the remaining critical plant species are restricted to the less affected areas of the estuary. These include a water fern (dwarf waterclover [*Marsilea polycarpa*]); an endemic shrub (Arana [*Schoepfia arenaria*]); endemic trees (uvero de monte [*Coccoloba sintenisii*], zapote de costa [*Manilkara pleeana*], and Maga wood [*Thespesia grandiflora*]); sea-purslane (*Sesuvium maritimum*); waterlily (*Nymphaea pulchella*); gray nickers (*Caesalpinia bonduc*); certain herbaceous species (twining screwstem [*Paronia paniculata*] and black sesame [*Hyptis spicigera*]); and intermediate arrowhead (*Sagittaria intermedia*) (Estuario, 2000).

A key objective of integrated management is to enhance ecosystem quality indicators that reflect ecological resilience. This includes improving water quality through pollution reduction, restoring habitat complexity to support diverse species assemblages, and increasing carbon sequestration via forest and wetland restoration (Brandeis et al., 2014). Monitoring these indicators provides feedback for adaptive decision-making and helps prioritize restoration efforts that yield the greatest ecological and social benefits.

SJBE's ecological richness and socio-economic importance hinge on the functions and resilience of its interconnected ecosystems. Given the multitude of anthropogenic and climatic pressures, resilience-based ecosystem management is not only necessary but imperative. By understanding ecosystem interconnections, improving critical ecological indicators, and effectively managing protected areas, stakeholders can enhance the estuary's capacity to withstand and adapt to change, safeguarding its natural resources and the well-being of its communities for generations to come.

OBJECTIVES

- Determine the current condition and monitor ecosystem quality as the basis for resilience-based management.
- Determine the current condition and monitor the population status of threatened and endangered species.
- Determine the current condition and monitor the ecosystem function of natural protected areas.
- Thoroughly understand ecosystem interconnections.
- Improve ecosystem quality indicators using tropical system metrics.
- Properly manage natural protected areas according to their designation.

ACTIONS

FE-06 RESTORE, ENHANCE AND CREATE MANGROVE FORESTS IN THE SJBE SYSTEM. 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 mangrove populations to identify areas of degradation and prioritize conservation efforts.	Comprehensive mapping of mangrove populations.	Finalized baseline assessment.	Lead: DNER Implementing partners: Estuario, academia, local organizations	Pending	0-2 years	TBD	USEPA, DNER, municipalities
2. Develop guidelines for sustainable management practices and restoration techniques for mangrove ecosystems.	Identify best practices for sustainable management and restoration.	Summarized successful, sustainable mangrove management practices and restoration.	Lead: DNER Implementing partners: Estuario, USFWS, USEPA	Pending	3-5 years	TBD	USEPA, DNER, municipalities
3. Establish a monitoring program to track the growth of mangrove populations, including the effects of non-native species.	Identify performance indicators to easily identify mangrove growth.	Finalized monitoring program.	Lead: DNER Implementing partners: Estuario, USFWS, USEPA	Pending	3-5 years	TBD	USEPA, DNER, municipalities
4. Develop partnerships with stakeholders and environmental organizations to secure funding and resources for ongoing conservation efforts.	Increase level of partnerships with stakeholders.	Collaborated with partners to secure funding for conservation efforts.	Lead: Estuario Implementing partners: DNER, USFWS, municipalities, local organizations, academia	Pending	5+ years	TBD	USEPA, DNER, municipalities

5. Plant mangroves in identified priority locations.	Improve survival and growth rates of newly planted mangroves.	Increased number of mangroves.	Leads: DNER, USFWS, Natural Resources Conservation Service (NRCS) Implementing partners: local municipalities, local organizations, Estuario	Pending	3-5 years	TBD	DNER, USFWS, NRCS
--	---	--------------------------------	---	---------	-----------	-----	-------------------

REGULATORY AND POLICY REQUIREMENTS

Restoration of mangroves along the northern Caño Martín Peña has been a success story in the SJBE. Success will require continued legislative support to fund mangrove restorations and support from municipal and state officials to ensure existing mangroves remain and new development incorporates new mangrove buffers.

FE-07 ENHANCE SEAGRASS BEDS IN THE SJBE SYSTEM. ADAPTATION

ACTIVITIES

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Conduct baseline assessment of existing seagrass beds in the SJBE.	Enhance understanding of current distribution of seagrass.	Finalized baseline assessment.	Lead: DNER Implementing partners: Estuario, USEPA, academia	Pending	0-2 years	TBD	USEPA, DNER, municipalities
2. Create a restoration plan with strategies for enhancing seagrass beds.	Identify priority areas.	Finalized restoration plan.	Lead: DNER Implementing partners: Estuario, USEPA, municipalities, academia	Pending	3-5 years	TBD	USEPA, DNER, municipalities
3. Partner with stakeholders to conduct research on water quality and seagrass growth, using the findings to inform best management practices.	Establish formal partnerships with local universities and key stakeholders.	Completed a research proposal that outlines the objectives, methods, and expected outcomes of the study, and secured necessary approvals.	Lead: DNER Implementing partners: Estuario, municipalities, community groups, academia	Pending	3-5 years	TBD	DNER, USEPA

REGULATORY AND POLICY REQUIREMENTS

The protection of seagrass habitat requires the support of local and state government to plan for long-term funding for a programmatic approach to seagrass monitoring and protection.

FE-08 IMPLEMENT LAW NO. 112 OF 2013, WHICH CREATED THE CONDADO LAGOON ESTUARINE NATURE RESERVE.

ACTIVITIES

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Implement public awareness and educational programs in the Condado Lagoon area to inform local communities.	Improve community understanding of key issues.	Conducted follow-up evaluations to assess the effectiveness of the programs implemented.	Leads: DNER, Estuario Implementing partners: community representatives, Municipality of San Juan, businesses	Pending	0-2 years	TBD	DNER, municipalities
2. Establish a monitoring and evaluation framework to assess the effectiveness of management actions in the Condado Lagoon Estuarine Nature Reserve Management Plan and compliance with Law No. 112.	Establish specific, measurable indicators to assess effectiveness.	Reviewed monitoring results and evaluated the effectiveness of management actions.	Leads: DNER, Estuario Implementing partners: community groups, community representatives, Municipality of San Juan, businesses	Pending	0-2 years	TBD	DNER, municipalities, USEPA

REGULATORY AND POLICY REQUIREMENTS

Continue to implement the law.

**NEW* FE-09 ENHANCE CORAL COMMUNITIES IN THE SJBE SYSTEM. ADAPTATION*

ACTIVITIES

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Assess existing coral communities in the SJBE.	Enhance understanding of current coral distribution.	Finalized baseline assessment.	Leads: USEPA, DNER Implementing partners: Estuario, academia	Pending	0-2 years	TBD	USEPA, DNER, municipalities, NOAA

2. Develop a restoration plan for the SJBE, in coordination with stakeholders, by evaluating options such as coral transplant salvaging and relocating existing coral fragments to degraded areas.	Identify priority areas.	Finalized restoration plan.	Leads: USEPA, DNER Implementing partners: Estuario, municipalities, academia, local organizations	Pending	3-5 years	TBD	USEPA, DNER, municipalities, NOAA
3. Establish a long-term monitoring program for coral communities in the SJBE.	Develop standardized monitoring protocols for coral assessment.	Provided regular submission of monitoring reports to stakeholders.	Leads: USEPA, DNER Implementing partners: Estuario, municipalities	Pending	3-5 years	TBD	USEPA, DNER, municipalities

REGULATORY AND POLICY REQUIREMENTS

Success will require support from municipal and state officials to ensure existing corals remain and new development incorporates features that can enhance and support new coral growth.

**NEW* FE-10 CONTINUE TO DESIGN AND IMPLEMENT MEASURES THAT RESTORE DEGRADED BENTHIC HABITATS AND PROMOTE THE CREATION OF BENTHIC HABITATS AND FISH AND SHELLFISH NURSERIES ADAPTATION*

ACTIVITIES

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Assess benthic habitats to identify areas in need of restoration.	Increase understanding of the current condition and diversity of benthic habitats.	Integration of benthic habitat restoration strategies into broader ecosystem management plans.	Lead: DNER Implementing partners: Estuario, academia	Pending	0-2 years	TBD	DNER, USEPA
2. Conduct a feasibility study to identify locations for potential artificial structures in coordination with local stakeholders.	Identify suitable locations for artificial structures.	Finalized feasibility study.	Leads: DNER, USEPA Implementing partners: Estuario, academia, municipalities, local organizations	Pending	3-5 years	TBD	DNER, USEPA
3. Implement pilot projects to test installations of artificial structures (i.e., Taíno Reefs® and Biohuts).	Document ecological benefits observed from the pilot projects.	Completed installation of pilot artificial structures.	Leads: DNER, USEPA Implementing partners: Estuario, academia, municipalities, local organizations	Pending	5+ years	TBD	DNER, USEPA, municipalities, local organizations

REGULATORY AND POLICY REQUIREMENTS

Success will require support from municipal and state officials to ensure existing coral remain, and new development incorporates features that can enhance and support new coral growth, sustain sediment quality, and provide habitat for marine life.

***NEW* FE-11 ENHANCE AND PROTECT ECOSYSTEMS IN OCEANS (SEASCAPES) AND THEIR CONNECTIVITY. ADAPTATION**

ACTIVITIES

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Assess existing conditions and identify areas that need intervention.	Identify specific areas exhibiting signs of degradation or decline in conditions.	Finalized priority areas for intervention based on assessment data.	Leads: DNER, NRCS, USEPA, Estuario Implementing partners: municipalities, academia	Pending	0-2 years	TBD	USEPA, DNER, NRCS
2. Develop an enhancement plan for seascapes.	Develop strategies and actions for enhancement.	Finalized enhancement plan.	Leads: DNER, NRCS, USEPA, Estuario Implementing partners: municipalities, academia	Pending	3-5 years	TBD	USEPA, DNER, NRCS
3. Implement the proposed enhancement plan and establish monitoring and maintenance protocols.	Document improvements from implemented actions.	Executed enhancement actions.	Leads: DNER, NRCS, USEPA, Estuario Implementing partners: municipalities, academia	Pending	5+ years	TBD	USEPA, DNER, NRCS

REGULATORY AND POLICY REQUIREMENTS

Enhancing seascapes will require cooperation from municipalities through creation and enforcement of ordinances. Management strategies may also recommend legislation at the state and federal level.

FE-12 ESTABLISH MANAGEMENT MEASURES WITHIN THE SJBE SYSTEM FOR THE LAND CRAB CARDISOMA GUANHUMI.

ACTIVITIES

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Identify critical habitats and needs for the species, including land needs and conservation.	Assess current threats to habitats.	Completed data collection to map critical habitats and species distribution.	Leads: DNER, USEPA, NRCS Implementing partners: Estuario, academia, municipalities, local organizations	Pending	0-2 years	TBD	DNER, USEPA, NRCS

2. Develop a management plan and establish a monitoring program to track conditions.	Collect stakeholder input and increase monitoring.	Finalized management plan.	Leads: DNER, USEPA, NRCS Implementing partners: Estuario, academia, municipalities, local organizations	Pending	3-5 years	TBD	DNER, USEPA, NRCS
--	--	----------------------------	--	---------	-----------	-----	-------------------

REGULATORY AND POLICY REQUIREMENTS

Species management will likely require cooperation from municipalities through creation and enforcement of ordinances. Management strategies may also recommend legislation at the state and federal level.

FE-13 CONTINUE TO IMPLEMENT A SEA TURTLE RECOVERY PLAN.

ACTIVITIES

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Identify areas within the SJBE as potential nesting areas.	Increase collaboration with stakeholders on collecting data.	Identified potential nesting areas.	Lead: DNER Implementing partners: USFWS, municipalities, Estuario, Siete Quillas, local organizations	Ongoing	3-5 years	TBD	DNER, USEPA, USFWS
2. Enhance the population of the leatherback sea turtle.	Increase nesting activity.	Implemented protective measures for the species.	Lead: DNER Implementing partners: USFWS, municipalities, Estuario, academia, Siete Quillas, local organizations	Pending	5+ years	TBD	DNER, USEPA, USFWS
3. Coordinate with stakeholders to educate the public on the importance of protecting sea turtle species.	Increase awareness of sea turtle conservation among the public.	Developed educational materials.	Lead: DNER Implementing partners: USFWS, municipalities, Estuario, Siete Quillas, Condado Collection, local organizations	Ongoing	0-2 years	TBD	DNER, USEPA, USFWS

REGULATORY AND POLICY REQUIREMENTS

Species management will likely require cooperation from municipalities through creation and enforcement of ordinances. Management strategies may also recommend legislation at the state and federal level.

FE-14 PROTECT EXISTING POPULATIONS OF ENDANGERED AND THREATENED BIRD SPECIES AND PROTECT

AND RESTORE THEIR HABITAT WITHIN THE SJBE SYSTEM. Adaptation

ACTIVITIES

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

1. Enforce existing regulations regarding bird species and their habitat to protect breeding and nesting areas.	Increase compliance among stakeholders with existing regulations.	Conducted training sessions for regulatory agencies on laws and regulations.	Leads: DNER, USFWS Implementing partners: Estuario, municipalities, regulatory agencies	Ongoing	3-5 years	TBD	DNER, USFWS
2. Develop measures to control the introduction of non-native species into the SJBE.	Review current regulations and practices and identify areas for improvement.	Increased stakeholder awareness regarding risks of non-native species.	Leads: DNER, USFWS Implementing partners: Estuario, municipalities	Ongoing	5+ years	TBD	DNER, USFWS
3. Educate the public to increase awareness about management measures and regulations.	Increase public understanding of management measures and regulations.	Collaborated with stakeholders to promote outreach efforts.	Leads: DNER, USFWS Implementing partners: Estuario, local organizations	Ongoing	3-5 years	TBD	DNER, USFWS

REGULATORY AND POLICY REQUIREMENTS

Species management will likely require cooperation from municipalities through creation and enforcement of ordinances. Management strategies may also recommend legislation at the state and federal level.

FE-15 ENHANCE AND PROTECT CRITICAL THREATENED AND ENDANGERED PLANT SPECIES WITHIN THE SJBE.

ACTIVITIES

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Develop nurseries to supply critical plant species.	Strengthen partnerships between nurseries and stakeholders.	Improved inventory of critical plant species.	Leads: DNER, USFWS Implementing partners: Estuario, municipalities, local nurseries	Pending	0-2 years	TBD	DNER, USFWS
2. Develop management plans for critical species.	Establish measurable indicators to assess effectiveness of management plans.	Finalized management plans for critical plant species.	Leads: DNER, USFWS Implementing partners: Estuario	Pending	3-5 years	TBD	DNER, USFWS
3. Establish protection zones to support propagation.	Identify areas as potential protection zones.	Created guidelines to protect and manage protection zones.	Leads: DNER, USFWS Implementing partners: Estuario, municipalities	Ongoing	3-5 years	TBD	DNER, USFWS

4. Educate the public on the importance of critical species.	Increase public awareness of critical plant species and their ecological roles.	Created educational resources focusing on the importance of critical species.	Leads: DNER, USFWS Implementing partners: Estuario, municipalities, local community organizations.	Ongoing	0-2 years	TBD	DNER, USFWS
--	---	---	---	---------	-----------	-----	-------------

REGULATORY AND POLICY REQUIREMENTS

Management will likely require cooperation from municipalities through creation and enforcement of ordinances. Management strategies may also recommend legislation at the state and federal level to ease permitting requirements for projects incorporating critical plant species.

FE-16 DETERMINE HISTORIC AND PRESENT RECREATIONAL FISHING AREAS IN THE SJBE AND DEVELOP A

PLAN TO ADEQUATELY MANAGE RECREATIONAL FISHERY RESOURCES. ADAPTATION

ACTIVITIES

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Identify areas used by recreational and commercial fisherman and determine perceived challenges regarding fishery resources.	Increase understanding of fish species catch and popular fishing areas.	Discussed commonly fished areas and usage patterns with sport fishers.	Lead: DNER Implementing partners: Estuario, USFWS, NMFS, Sea Grant Puerto Rico, community groups, Caribbean Fishery Management Council	Ongoing	0-2 years	TBD	DNER
2. Identify areas in need of support regarding protection and management.	Comprehensive mapping of vulnerable habitats that require additional protection and management efforts.	Conducted field assessments to gather data on habitat conditions.	Lead: DNER Implementing partners: Estuario, Sea Grant Puerto Rico, community groups, Caribbean Fishery Management Council	Pending	0-2 years	TBD	DNER

REGULATORY AND POLICY REQUIREMENTS

Fisheries management may require changes to seasonal and geographical size and bag limits to some fish species. Education and enforcement of new and existing fishing regulations will also be critical.

**NEW* FE-17 ENHANCE, RESTORE, AND CREATE COASTAL DUNES, COASTAL FORESTS, AND BEACH THICKETS. ADAPTATION*

ACTIVITIES

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

1. Assess existing conditions and identify areas that need intervention.	Identify specific areas exhibiting degradation or decline in condition that require intervention.	Analyzed collected data to identify specific areas of concern and assess severity of degradation.	Leads: DNER, USFWS Implementing partners: Estuario, municipalities, academia, scientific community, environmental nongovernmental organizations (NGOs) and consultants. U.S. Geological Survey	Pending	0-2 years	TBD	DNER, USFWS, municipalities
2. Develop plans to enhance, restore, and create coastal habitats.	Establish measurable indicators to assess the effectiveness of enhancement actions.	Incorporated stakeholder input and finalized habitat enhancement plan.	Leads: DNER, USEPA Implementing partners: Estuario, municipalities, academia, scientific community, environmental NGOs and consultants	Pending	TBD	TBD	DNER, USEPA, municipalities
3. Implement developed plans to enhance, restore, and create coastal habitats and establish monitoring and maintenance protocol.	Improve habitat and information gathered through monitoring.	Secured necessary resources to conduct enhancement activities and monitoring outlined in plan.	Leads: DNER, USEPA Implementing partners: Estuario, municipalities, academia, scientific community, environmental NGOs and consultants	Pending	5+ years	TBD	DNER, USEPA, municipalities

REGULATORY AND POLICY REQUIREMENTS

Management will likely require cooperation from municipalities through creation and enforcement of ordinances. Management strategies may also recommend legislation at the state and federal level to limit development and increase buffers around these critical areas.

**NEW* FE-18 ENHANCE AND PROTECT FORESTS AND LANDSCAPE CONNECTIVITY IN THE WATERSHED. ADAPTATION*

ACTIVITIES

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

1. Assess existing conditions and identify areas that need intervention.	Identify specific areas exhibiting degradation or decline in condition that require intervention.	Analyzed collected data to identify specific areas of concern and assessed severity of degradation.	Leads: DNER, USEPA Implementing partners: Estuario, municipalities, academia, scientific community	Pending	0-2 years	TBD	DNER, USEPA, municipalities
2. Develop plans to enhance upper watershed forests and landscape connectivity.	Establish measurable indicators to assess the effectiveness of enhancement actions.	Incorporated stakeholder input and finalize the habitat enhancement plan.	Leads: DNER, USEPA, NRCS Implementing partners: Estuario, municipalities, academia, scientific community	Pending	3-5 years	TBD	DNER, USEPA, municipalities, USFS, USFWS, NRCS
3. Implement plans to enhance upper watershed forests and improve landscape connectivity and establish monitoring and maintenance protocol.	Improve landscape connectivity and information gathered through monitoring.	Secured necessary resources to conduct enhancement and monitoring activities.	Leads: DNER, USEPA, NRCS Implementing partners: Estuario, municipalities, academia, scientific community	Pending	5+ years	TBD	DNER, USEPA, municipalities, USFS, USFWS, NRCS

REGULATORY AND POLICY REQUIREMENTS

Management will likely require cooperation from municipalities through creation and enforcement of ordinances. Management strategies may also recommend legislation at the state and federal level to limit development and increase buffers in and around these critical areas.

**NEW* FE-19 ENHANCE AND PROTECT HERBACEOUS WETLANDS. ADAPTATION*

ACTIVITIES

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Assess existing conditions and identify areas that need intervention.	Identify specific areas exhibiting degradation or decline in condition that require intervention.	Analyzed data to identify specific areas of concern and assess the severity of degradation.	Lead: DNER Implementing partners: Estuario, municipalities, academia, scientific community, environmental NGOs and consultants	Pending	0-2 years	TBD	DNER, USEPA, municipalities

2. Develop plans to protect, enhance, and create herbaceous wetlands.	Establish measurable indicators to assess the effectiveness of enhancement actions.	Incorporate stakeholder input and finalize the plan.	Lead: DNER Implementing partners: Estuario, municipalities, academia, scientific community, environmental NGOs and consultants	Pending	3-5 years	TBD	DNER, USEPA, municipalities
3. Implement plans to protect, enhance, and create herbaceous wetlands and establish monitoring and maintenance protocol.	Improve herbaceous wetlands and information gathered through monitoring.	Secured necessary resources to conduct enhancement activities as outlined in the plans.	Lead: DNER Implementing partners: Estuario, municipalities, academia, scientific community, environmental NGOs and consultants	Pending	5+ years	TBD	DNER, USEPA, municipalities

REGULATORY AND POLICY REQUIREMENTS

Management will likely require cooperation from municipalities through creation and enforcement of ordinances. Management strategies may also recommend legislation at the state and federal level to limit development and increase buffers in and around these critical areas.

**NEW* FE-20 IMPLEMENT A PROJECT TO INCENTIVIZE AND RECOGNIZE INDIVIDUAL PROPERTY OWNERS THAT MANAGE THEIR YARDS AS PART OF A BIODIVERSITY CONSERVATION AREA.*

ACTIVITIES

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Assess areas that could potentially be identified as a biodiversity conservation area.	Identify specific properties and their owners.	Analyzed data to identify areas with high biodiversity value and assess the ecological condition of potential conservation areas.	Lead: DNER Implementing partners: Estuario, municipalities	Pending	0-2 years	TBD	DNER, USEPA, municipalities
2. Develop plans to incentivize proper maintenance of properties.	Establish measurable indicators to inform property owners of proper maintenance.	Finalized incentive plans with stakeholder input.	Lead: DNER Implementing partners: Estuario, municipalities	Pending	3-5 years	TBD	DNER, USEPA, municipalities
3. Implement developed plans to incentive biodiversity and establish monitoring and maintenance protocols.	Improve biodiversity and information gathered through monitoring.	Secured necessary resources to conduct enhancement activities.	Lead: DNER Implementing partners: Estuario, municipalities	Pending	5+ years	TBD	DNER, USEPA, municipalities

4. Educate the public to increase the use of native plant species for ornamental purposes.	Increase public awareness native plant species use and their ecological role.	Guidelines for native species use.	Lead: DNER Implementing partners: Estuario, USFS	Pending	0-2 years	TBD	USFS
--	---	------------------------------------	---	---------	-----------	-----	------

REGULATORY AND POLICY REQUIREMENTS

Establishment and recognition or requirement of “Puerto Rico Friendly” plants in development permits may assist in supporting this action. Establishing local ordinances for fertilizer bans and other management practices may also assist in this effort.

REFERENCES

Bauzá-Ortega J. 2015. San Juan Bay Estuary Climate Change Adaptation Plan. San Juan, PR: San Juan Bay Estuary Program.

Brandeis, T. J., F. J. Escobedo, C. L. Staudhammer, D. J. Nowak, and W. C. Zipperer. 2014. San Juan Bay Estuary Watershed urban forest inventory. Page 44. USDA Forest Service, Southern Forest Experiment Station General Technical Report SRS-190, Asheville, NC.

Bruun, P. 1962. Sea level rise as a cause of shore erosion. Journal of Waterways and Harbours Division ASCE 88: 117-130. DNRA, 2010.

De Jesús Crespo, R., and A. Ramírez. 2011. Effects of urbanization on stream physiochemistry and macroinvertebrate assemblages in a tropical urban watershed in Puerto Rico. Journal of the North American Benthological Society 30: <https://doi.org/10.1899/1810-1081.1891>.

Estuario. 2016. Comprehensive Conservation and Management Plan. <https://estuario.org/plan-integral-de-manejo-y-conservacion-del-estuario-de-la-bahia-de-san-juan-ccmp/>

Estuario. 2000. Comprehensive Conservation and Management Plan. <https://estuario.org/comprehensive-conservation-and-management-plan-ccmp-for-the-san-juan-bay-estuary/>.

Fish, M. R., I. M. Cote, J. A. Gill, A.P. Jones, S. Renshoff, and A. Watkinson. 2005. Predicting the impact of sea level rise on Caribbean sea turtles nesting habitat. Conservation Biology 19: 482-491.

Govender, Y. 2019. Long-term monitoring of crab *Cardisoma guanhumi* (Decapoda: Gecarcinidae) captures in Jobos Bay Estuary, Puerto Rico. *Revista de Biología Tropical*, 67(4), 879-887.

Harris, L.E. 2009. Artificial reefs for ecosystem restoration and coastal erosion protection with aquaculture and recreational amenities. Reef Journal 1:235-246.

LG2 Environmental Solutions Inc., and CSA Ocean Sciences Inc. 2021. San Juan harbor mitigation sand source, San Juan Puerto Rico. Benthic resource survey. CSA-LG2-FL-21-81695-3687-04-rep-01-VER01, Stuart, FL.

Lugo, A.E. and Bauzá Ortega, J.F. 2024 *San Juan Bay Estuary: Research History and Opportunities*. January 2024. USEPA.

Lugo, A. E., O. M. Ramos González, and C. Rodríguez Pedraza. 2011. The Río Piedras watershed and its surrounding environment. USDA Forest Service FS-980, Washington, DC.

Wenger, A. S., E. Harvey, S. Wilson, C. Rawson, S. J. Newman, D. Clarke, B. J. Saunders, N. Browne, M. J. Travers, J. L. Mcilwain, P. L. A. Erftemeijer, J. P. A. Hobbs, D. Mclean, M. Depczynski, and R. D. Evans. 2017. A critical analysis of the direct effects of dredging on fish. *Fish and Fisheries* doi:10.1111/faf.12218.

PUBLIC POLICY FOR RESILIENCE-BASED ECOSYSTEM MANAGEMENT

BASELINE

Law No. 112 established the Condado Lagoon Estuarine Nature Reserve in 2013. By establishing a commission for community management and a conservation plan for the development and conservation efforts, this law establishes an approach for resilience-based ecosystem management within the legislative structure in Puerto Rico.

There are many protected natural areas and urban forests within the SJBE, as outlined in Table 3. These areas provide critical refuge for threatened and endangered species, greenspace within metropolitan centers, and education for nature-based solutions. The Piñones State Forest is one of the earliest examples of recognition for the preservation of natural space in Puerto Rico. Located to the east of Torrecilla Lagoon and home to Puerto Rico's largest mangrove forest, the area has been a prime target for large-scale development since the 1970s. The local community has blocked multiple hotel developers in the area. Recently, Mayor Julia Nazario Fuentes stated that "At Loíza we believe in development, but sustainable development, in total harmony with the environment, that generates jobs for our people. The formula must improve the collective infrastructure and there must be a component of social commitment" (El Sol de PR Newspaper, 2025). This is an excellent example of preservation and management of natural ecosystems in what would have otherwise given way to eastern urban sprawl of the San Juan metropolitan area. Connectivity of these spaces is important to allow species to migrate without threat from urban centers. The San Juan Ecological Corridor was established in 2003 to provide this connectivity.

Table 3. List of Protected Natural Areas and Urban Forests within the SJBE.

Name	Year Established
Piñones State Forest	1919
Botanical Garden of the University of Puerto Rico	1971
Las Cucharillas Swamp Nature Reserve	1976
San Patricio Urban Forest	1998
Karst Conservation Area	1999
Urban Forest of the New Millennium	2003
Doña Inés Mendoza Urban Forest	2003
San Juan Ecological Corridor	2003
Martin Peña Canal Nature Reserve	2003
Old Aqueduct of the Piedras River	2006
Los Frailes Protected Natural Area	2006
Sendra Sisters Protected Natural Area	2011
Condado Lagoon Nature Reserve	2013
Green Island Reef Marine Reserve	2014
Buffer Zone of the Ciénaga Las Cucharillas River	Not applicable

Coral reefs are critical ecosystems that provide numerous ecological, economic, and social benefits in the SJBE. Coral communities contribute significantly to marine biodiversity and the overall functioning of coastal environments. Coral communities in the SJBE are found in various locations, with their most significant presence occurring where the estuary connects to the ocean. Key sites include Dos Hermanos in Condado and Boca de Cangrejos in Torrecilla, as well as along the coastline from Cataño to Loíza (Rodríguez et al.

1992). These areas are characterized by a unique blend of estuarine and marine influences, which support diverse coral species. Part of this chain of fringe coral reefs is protected within the marine reserve known as Isla Verde Marine Reserve, where two threatened reef-building coral species are found: *Acropora palmata* (elkhorn coral) and *Orbicella annularis* (boulder star coral). The protection of these species is crucial, as they play a significant role in reef structure and function.

In 2008, Estuario initiated a project to enhance marine biodiversity by placing 45 artificial reefs on the bottom of the Condado Lagoon. This goal of this initiative was to create an underwater corridor that would support marine life. Within two years of construction, the project had documented 49 species of fish, and the fish population in this part of the lagoon had doubled. Additionally, approximately 2,500 colonies of coral now grow on the surfaces of these artificial reefs, demonstrating the potential for habitat restoration and enhancement in the SJBE (Bauzá-Ortega, 2015).

Coral reefs are a vital component of the SJBE system, providing essential ecological services and supporting diverse marine life. However, they are increasingly threatened by environmental stressors and human activities. Understanding the specific dynamics of coral reefs in this watershed is crucial for stakeholders to implement effective conservation strategies. Prioritizing coral communities, identifying and designating marine protected areas, and creating and implementing management plans in these areas, can help ensure the resilience of these ecosystems and the myriad benefits they provide to the SJBE.

OBJECTIVES

- Strengthen public policy that supports resilience-based ecosystem management.
- Increase the number of natural protected areas.

ACTIONS

**NEW* FE-21 COMPLETE AN INVENTORY OF NATURAL PROTECTED AREAS IN THE SAN JUAN METRO REGION AND ENSURE EACH HAS AND IS IMPLEMENTING A COMPREHENSIVE MANAGEMENT PLAN.*

ACTIVITIES

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Review existing management plans, in coordination with local stakeholders, to assess their effectiveness and identify gaps or areas needing improvement.	Increase understanding of threats to biodiversity in natural protected areas.	Understand needs and gaps in existing management plans.	Leads: DNER, USFWS Implementing partners: Estuario, municipalities, academia, scientific community, environmental NGOs and consultants	Pending	3-5 years	TBD	DNER, USEPA, NOAA, municipalities

2. Develop or update comprehensive management plans for each protected area.	Ensure management plans adhere to environmental regulations and policies.	Finalized management plans.	Leads: DNER, USFWS Implementing partners: Estuario, municipalities, community groups, academia, scientific community, environmental NGOs and consultants	Pending	5+ years	TBD	DNER, USEPA, NOAA, municipalities
--	---	-----------------------------	---	---------	----------	-----	-----------------------------------

REGULATORY AND POLICY REQUIREMENTS

The success of this action will require that established protected areas receive the funding required to manage the area in accordance with the legislative mandates that established these areas.

FE-22 EVALUATE THE FEASIBILITY OF DESIGNATING THE TORRECILLA ALTA-VACIA TALEGA AREA AS PART OF THE PIÑONES STATE FOREST NATURE RESERVE.

ACTIVITIES

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Conduct a detailed ecological and property assessment of the Torrecilla Alta-Vacia Talega.	Assess the ownership, condition, valuation, and quality of different habitat types within the area.	Finalized ecological assessment.	Lead: DNER Implementing partners: Estuario, municipalities, academia, scientific community	Pending	0-2 years	TBD	DNER
2. Develop a formal proposal for the designation.	Include detailed ecological assessment findings that support the need for designation.	Finalized designation proposal.	Lead: DNER Implementing partners: Estuario, municipalities	Pending	3-5 years	TBD	DNER
3. Collaborate with stakeholders to navigate the regulatory processes.	Improve knowledge among stakeholders regarding the regulatory requirements and processes.	Collaborated with stakeholders to compile and draft necessary documentation	Lead: DNER Implementing partners: Estuario, municipalities, regulatory agencies	Pending	3-5 years	TBD	DNER

REGULATORY AND POLICY REQUIREMENTS

This action will require a legislative action to designate this area as part of the Piñones State Forest Nature Reserve. Champions in the local communities and legislature will be required to achieve this designation.

FE-23 IDENTIFY AREAS IN THE SJB TO BE DESIGNATED MARINE PROTECTED AREAS AND CONTINUE CORAL REEF RESTORATION PROJECTS.

ACTIVITIES

Activity	Performance Measures	Milestones	Responsible Stakeholder(s) and Partner(s)	Status	Timeframe	Estimated Costs	Potential Funding Sources
1. Perform a detailed ecological assessment to identify critical habitats, biodiversity hotspots, and areas that would benefit from protection.	Evaluate the condition and stability of identified habitats.	Analyzed data to identify critical habitats and biodiversity hotspots.	Lead: DNER Implementing partners: Estuario, NOAA, municipalities, academia, scientific community, environmental NGOs and consultants	Pending	0-2 years	TBD	DNER, USEPA, NOAA
2. Implement reef and coral restoration projects and create a monitoring and evaluation framework to assess the effectiveness.	Increase in fish and invertebrate populations associated with restored reefs.	Established regular monitoring schedule to assess coral growth, condition, and associated biodiversity.	Lead: DNER Implementing partners: Estuario, NOAA, academia, scientific community, environmental NGOs and consultants	Pending	3-5 years	TBD	DNER, USEPA, NOAA

REGULATORY AND POLICY REQUIREMENTS

Legislative action will be required to designate marine protected areas. Champions in the local communities and legislature will be required to achieve this designation. Success will require support from municipal and state officials to ensure existing coral remain, and new development incorporates features that can enhance and support new coral growth, sustain sediment quality, and provide habitat for marine life.

FE-24 APPROVE A MANAGEMENT PLAN FOR THE SAN JUAN ECOLOGICAL CORRIDOR

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 ecological data and needs in coordination with stakeholders and local communities.	Clear documentation of gaps in existing ecological data.	Conducted a thorough literature review of existing studies, reports, and databases.	Lead: DNER Implementing partners: Estuario, municipalities, community groups	Pending	0-2 years	TBD	DNER, USEPA, NOAA, municipalities
2. Draft management plan.	Effective incorporation of feedback and suggestions.	Finalize draft management plan.	Lead: DNER Implementing partners: Estuario, municipalities, community groups	Pending	3-5 years	TBD	DNER, USEPA, NOAA, municipalities

3. Implement management plan, including buying land in the San Juan Ecological Corridor.	Enhance stakeholder awareness and support for the management plan and land purchases.	Finalized final management plan.	Lead: DNER Implementing partners: Estuario, municipalities	Pending	3-5 years	TBD	DNER, USEPA, NOAA, municipalities
--	---	----------------------------------	---	---------	-----------	-----	-----------------------------------

REGULATORY AND POLICY REQUIREMENTS

In 2024, the requirement for DNER to prepare a Conservation Management Plan was established by law (12 L of PR § 216i). The law required DNER to establish a committee and furnish the committee with materials and office space. DNER was required to prepare an Integrated Conservation and Management Plan in coordination with the committee.

REFERENCES

Bauza-Ortega, J. 2015. *San Juan Bay Estuary climate change adaptation plan*, San Juan Bay Estuary Program.

Estuario. 2025. Protected Natural Areas and Urban Forests. <https://estuario.org/protected-natural-areas-and-urban-forests/>.

Rodriguez, R. W., R. M. T. Webb, D. M. Bush, and K. M. Scanlon. 1992. Marine geological map of the north insular shelf of Puerto Rico- río de Bayamon to río Grande de Loíza. Miscellaneous Investigations Series. Map 1-2207 (sheet 1 of 2). US Geological Survey, Denver CO.

El Sol de PR Newspaper. July 22, 2025. *The mayor of Loíza signed the position of the Municipality on development projects.*