

PLAN DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA Y RECUPERACIÓN DE ESPECIES

*PARA BALTRA, PLAZA SUR, ESPAÑOLA E
ISABELA NORTE*

2025-2029



Fundación
Charles Darwin
Foundation
GALAPAGOS

Patricia Jaramillo Díaz - Nicolás Velasco - Darlene Chirman - Anna Calle-Loor



2024

Plan de Restauración Ecológica y Recuperación de Especies para Baltra, Plaza Sur, Española e Isabela Norte 2025-2029

AUTORES:

Patricia Jaramillo Díaz, Nicolás Velasco, Darlene Chirman, Anna Calle-Loor

COLABORACIÓN TÉCNICA:

Christian Sevilla, Klever Aguilar, Jibson Valle, Freddy Villalva, Alex Ballesteros

DONANTES GV2050:

COmON Foundation
BESS Forest Club
Stanley Smith Horticultural Trust
Johnson Wax
Hurtigruten Foundation
Galapagos Conservation Trust (GCT)

CIENTÍFICOS COLABORADORES GV2050:

James Gibbs, Washington Tapia

TRADUCCIÓN:

Patricia Jaramillo Díaz, Nicolás Velasco, Anna Calle-Loor

REVISORES:

Rakan Zahawi, Maria José Barragán Paladines, Washington Tapia

DISEÑO GRÁFICO:

Boris Herrera / CDF

FOTOS:

Andrés Cruz
Anna Calle-Loor / FCD
Boris Herrera / FCD
Carlos Espinosa / FCD
Fredí Jiménez / DPNG
Joshua Vela
Juan Manuel García / FCD
Patricia Jaramillo Díaz / FCD
Paúl Mayorga / FCD
Pavel Enríquez-Moncayo / FCD
Rashid Cruz / FCD
Sam Rowley
Tui de Roy

“La misión de la Fundación Charles Darwin y su estación científica es abordar las mayores amenazas y desafíos para galápagos a través de la investigación científica y acciones de conservación con el fin de proteger uno de los tesoros naturales más importantes del mundo.”

ISBN: 978-9978-53-075-7



PARA CITAR ESTE DOCUMENTO:

Jaramillo, P., Velasco, N., Chirman, D., Calle-Loor, A. (2024). Plan de Restauración Ecológica y Recuperación de Especies de Baltra, Plaza Sur, Española e Isabela Norte 2025-2029. Fundación Charles Darwin, Puerto Ayora, Galápagos-Ecuador.

Esta publicación es la contribución número 2652 de la Fundación Charles Darwin para las Islas Galápagos

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN

Necesidad de un plan de restauración.....	7
Antecedentes.....	8
¿Qué hay de nuevo en esta versión del plan de restauración?.....	9
Islas cubiertas en el plan.....	9
Objetivo e impactos esperados del plan de restauración.....	9

PARTICIPACIÓN DE INSTITUCIONES LOCALES

Taller participativo DPNG.....	11
--------------------------------	----

ESTRATEGIAS GENERALES DE RESTAURACIÓN

Regeneración asistida.....	12
Oportunidades de regeneración natural.....	17
El niño: riesgos y recompensas para la restauración de plantas de Galápagos.....	19
Estrategias de protección física.....	20
Selección de especies.....	22

BALTRA

Baltra—Antecedentes.....	24
Baltra—Objetivo.....	26
Baltra—Acciones de restauración.....	27
Baltra—Cronograma.....	33

PLAZA SUR

Plaza Sur—Antecedentes.....	36
Plaza Sur—Objetivo.....	36
Plaza Sur—Acciones de restauración.....	39
Plaza Sur—Cronograma.....	44

ESPAÑOLA

Española—Antecedentes.....	46
Española—Objetivo.....	50
Española—Acciones de restauración.....	50
Española—Cronograma.....	57

ISABELA NORTE

Isabela Norte—Antecedentes.....	59
Isabela Norte—Objetivo.....	61
Isabela Norte—Acciones de restauración.....	61
Isabela Norte—Cronograma.....	64

PROTOCOLOS GENERALES PARA TODAS LAS ISLAS

Recolección, manejo, y almacenamiento de semillas de islas remotas.....	67
Germinación de semillas.....	68
Adaptación de plántulas en invernaderos ex-situ.....	68
Transporte de plántulas desde Santa Cruz a su isla de origen.....	69
Técnicas de control de malezas.....	70

AGRADECIMIENTOS

Donantes, personal, y voluntarios.....	71
--	----

REFERENCIAS



INTRODUCCIÓN

El Programa Galápagos Verde 2050 (GV2050) de la Fundación Charles Darwin (FCD) publica este Plan de Restauración Ecológica y Recuperación de Especies, en adelante Plan de Restauración. Este documento ofrece orientación a los/las profesionales e instituciones involucrados en los esfuerzos de restauración en las Islas Galápagos.

Este plan tiene como objetivo avanzar en los esfuerzos de restauración y recuperación de especies en Baltra, Plaza Sur, Española e Isabela Norte durante los próximos cinco años y fue desarrollado en colaboración con la Dirección del Parque Nacional Galápagos (DPNG), principal colaborador de la FCD.



NECESIDAD DE UN PLAN DE RESTAURACIÓN

Si bien las islas Galápagos a menudo se consideran bien conservadas en comparación con otros ecosistemas insulares, algunas áreas se han visto significativamente afectadas por las actividades humanas. Antes del establecimiento del Parque Nacional Galápagos en 1959, que protegió el 97% de la superficie terrestre de las islas (Black, 1973), ya se había producido degradación. Las cabras introducidas, presentes en las islas antes de la famosa visita de Charles Darwin en 1835, habían devastado la vegetación nativa (Donlan *et al.*, 2011). Tres colonias penales operaron desde la década de 1830 hasta la de 1950, esto exacerbó aún más la degradación del hábitat (Astudillo y Jamieson, 2023) y la construcción de una base aérea de los Estados Unidos durante la Segunda Guerra Mundial contribuyó aún más a esta tendencia (Cayot, 1991). Estos son sólo algunos de los factores que han llevado a la degradación del hábitat de las islas, destacando la necesidad de llevar a cabo procesos de restauración ecológica para recuperar la biodiversidad vegetal única de Galápagos y mejorar el bienestar humano.

La restauración ecológica es un proceso a largo plazo que puede resultar en un uso significativo de recursos. Por lo tanto, un Plan de Restauración bien diseñado con objetivos claramente definidos garantiza que los recursos limitados se asignen de manera eficiente, maximizando así el impacto del proyecto. El Plan de Restauración también sirve como herramienta de comunicación, alineando a las partes interesadas y fomentando la colaboración. Se ha demostrado que un buen diseño, planificación, implementación, participación de las partes interesadas, y monitoreo para el manejo adaptativo mejoran los resultados de la restauración (Gann *et al.*, 2019).

A nivel mundial, la necesidad crítica de detener, prevenir y revertir la degradación de los ecosistemas llevó a las Naciones Unidas a declarar el período 2021-2030 como el Decenio para la Restauración de los Ecosistemas (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2021). Esta y otras iniciativas tienen como objetivo movilizar esfuerzos y recursos internacionales para ampliar las actividades de restauración de ecosistemas, abordar las causas fundamentales de la degradación y promover prácticas de manejo sostenible de la tierra.





ANTECEDENTES

Galápagos Verde 2050 es una iniciativa de restauración que ha estado vigente durante los últimos diez años y se divide en tres fases. Durante la primera fase del programa (2014-2017), entre otras actividades, se desarrolló un Plan de Acción para la Restauración Ecológica de Baltra y Plaza Sur (Jaramillo *et al.*, 2017). Ahora, en la segunda fase del programa (2017-2027), publicamos este plan de cinco años que incluye una actualización del primer plan y dos localidades adicionales: Española e Isabela Norte. La tercera fase del programa (2027-2050) incluye la incorporación de la Isla Santiago, para lo cual será necesario desarrollar un plan adicional. En 2022, el GV2050 se reestructuró como un programa compuesto por siete proyectos de investigación.

El Plan de Restauración se desarrolló siguiendo los principios para la restauración de los ecosistemas como guía para el decenio de las Naciones Unidas (FAO *et al.*, 2021), los Estándares de práctica para guiar la restauración de los ecosistemas (FAO *et al.*, 2023), y el Principios y estándares internacionales para la práctica de la restauración ecológica de la Sociedad para la Restauración Ecológica (Gann *et al.*, 2019).

Además, el documento está alineado con el Plan de Manejo de Áreas Protegidas de Galápagos (DPNG, 2014), que enfatiza que los esfuerzos de restauración en Galápagos no solo deben centrarse en especies individuales sino también apuntar a restaurar la integridad ecológica y mejorar la resiliencia de los ecosistemas.

¹Restauración ecológica: "El proceso de ayudar a la recuperación de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido" (Gann *et al.* 2019). ²Rehabilitación: "Acciones de gestión que tienen como objetivo restablecer un nivel de funcionamiento del ecosistema en sitios degradados, con el objetivo de una provisión renovada y continua de servicios ecosistémicos en lugar de la biodiversidad y la integridad de un ecosistema de referencia nativo designado" (Gann *et al.*, 2019).

El Plan de Restauración se adhiere a los siguientes lineamientos de manejo descritos en el Plan de Manejo de Áreas Protegidas de Galápagos:

- Las acciones de restauración nunca deben sustituir un enfoque de manejo preventivo.
- Los programas de restauración no deben ser esfuerzos independientes sino más bien componentes de un programa integral de manejo de ecosistemas.
- Los proyectos de restauración ecológica¹ deben tener prioridad sobre los de rehabilitación², a menos que los primeros no sean viables.
- Siempre se deben evitar proyectos que modifiquen los ecosistemas con fines recreativos.
- Todo proyecto de restauración debe cumplir con un conjunto secuencial y jerárquico de requisitos establecidos por la DPNG, incluyendo la viabilidad científica, territorial, técnica, económica, legal, social y política.
- La capacidad de los ecosistemas de Galápagos para auto regenerarse y su resiliencia se reconocen como principios rectores para los proyectos de restauración.

Al adherirse a estos lineamientos, este Plan de Restauración garantiza un enfoque sistemático y holístico para los esfuerzos de restauración en el Archipiélago de Galápagos.

¿QUÉ HAY DE NUEVO EN ESTA VERSIÓN DEL PLAN DE RESTAURACIÓN?

El principal cambio con respecto al Plan de Acción de 2017 es la inclusión de dos localidades: Española e Isabela Norte, ampliando así la cobertura geográfica que describe este documento. Además, los objetivos y acciones de restauración para Baltra y Plaza Sur han sido actualizados de acuerdo con los resultados de las investigaciones realizadas desde la publicación del plan anterior (ver referencias en las secciones correspondientes). Una mejora significativa para estas islas ha sido la inclusión de ecosistemas de referencia de acuerdo con el Principio 3 de los Estándares para la Restauración Ecológica (Gann *et al.*, 2019).

ISLAS CUBIERTAS EN EL PLAN

El Plan de Restauración describe acciones clave que se llevarán a cabo de 2025 a 2029 para alcanzar objetivos de restauración ecológica a largo plazo en Baltra, Plaza Sur y Española, mientras se centra en la recuperación de especies en Isabela Norte. A pesar de no ser una isla, el norte de Isabela está ecológicamente separado del sur de Isabela por el istmo de Perry. Las primeras tres islas e Isabela Norte están completamente protegidas dentro del Parque Nacional Galápagos y se consideran deshabitadas. Comparten características comunes, incluida una alta biodiversidad y áreas que han sufrido una degradación histórica que ha disminuido en las últimas décadas, lo que las convierte en candidatas ideales para los esfuerzos de restauración ecológica.

El plan se centra en la restauración de comunidades vegetales, reconociendo su papel fundamental en el mantenimiento y apoyo de la salud de los ecosistemas terrestres a través de funciones ecológicas. Es importante señalar que, si bien nuestro énfasis está en la restauración de la vegetación, reconocemos la importancia de desarrollar planes complementarios para restaurar otros componentes de estos ecosistemas, como la fauna.

Baltra y Plaza Sur están ubicadas al norte y al este de la isla Santa Cruz, respectivamente (**Fig. 1**). **Española** es la isla más al sur del archipiélago, ubicada al sureste de la isla Santa Cruz. Finalmente, **Isabela**, la isla más grande, se encuentra al oeste de la isla Santa Cruz.

OBJETIVO E IMPACTOS ESPERADOS DEL PLAN DE RESTAURACIÓN

Objetivo: Contribuir al desarrollo de un método eficiente de restauración ecológica de ecosistemas terrestres degradados y a la recuperación de plantas en peligro de extinción en Galápagos.



Proceso de Restauración

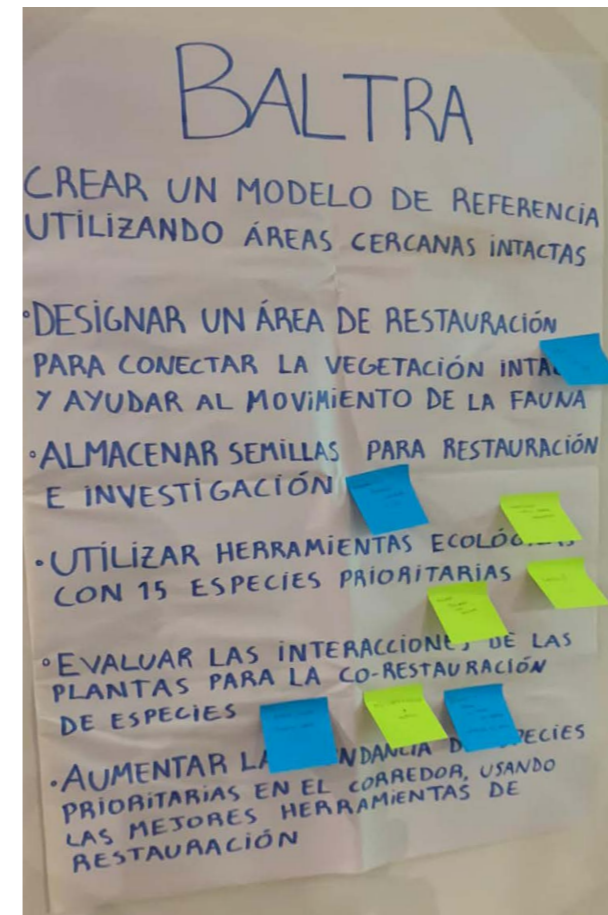


PARTICIPACIÓN DE INSTITUCIONES LOCALES

TALLER PARTICIPATIVO DPNG :

El desarrollo de este Plan de Restauración requirió tres años de trabajo, durante los cuales se llevó a cabo una planificación exhaustiva, con múltiples ediciones, revisiones y actualizaciones. Como documento de planificación, se incluyó la participación activa de las partes interesadas locales, quienes aportaron diversas perspectivas para asegurar que los objetivos fueran prácticos y las acciones viables en condiciones de campo. Además, la revisión final se realizó durante un taller con el personal del Departamento de Conservación y Restauración de Ecosistemas Insulares de la Dirección del Parque Nacional Galápagos. Este taller fue particularmente importante porque los guardaparques poseen el conocimiento práctico necesario para transformar ideas en objetivos realistas.

Durante el taller, se presentó el plan de restauración, incluidas sus innovaciones, objetivos y actividades propuestas. Los guardaparques proporcionaron retroalimentación de dos maneras: primero, anotaron sus opiniones sobre los objetivos del plan y agregaron recomendaciones en un documento; segundo, proporcionaron anotaciones sobre actividades específicas de las islas utilizando notas adhesivas, que discutieron directamente con el personal de GV2050.



Miembros de la DPNG, Conservando Galápagos y Galápagos Verde 2050 colaborando en una salida de campo. Estas son algunas de las varias instituciones que proporcionaron retroalimentación para este plan de restauración

Herramientas de restauración ecológica

En este Plan de Restauración, utilizaremos el término "herramientas de restauración ecológica" para referirnos a tecnologías ahorradoras de agua (TAA) y otros tratamientos que tienen el potencial de acelerar el proceso de recuperación de ecosistemas. Las Islas Galápagos son principalmente áridas, con áreas de baja elevación que reciben escasas precipitaciones, mientras que las tierras altas tienen mayores precipitaciones. Los datos históricos de precipitaciones en la Isla Santa Cruz revelan una precipitación media anual de 277 mm en la Estación Científica Charles Darwin (ECCD) en las tierras bajas entre 1965 y 2009, y de 813 mm en Bellavista en las tierras altas entre 1987 y

2009 (Trueman y D'Ozouville, 2010). Los períodos de sequía estacional prolongada crean desafíos climáticos para la restauración de estas islas. Además, la falta de un suministro de agua dulce crea desafíos logísticos que deben abordarse. Para abordar estos desafíos hídricos, el Programa GV2050 evaluó tres herramientas de restauración ecológica durante la Fase I: Groasis Waterboxx®, Cocoon e Hidrogel (p. 14-15). Todas han mostrado resultados prometedores, aumentando la tasa de supervivencia a 2 años de al menos siete especies nativas y endémicas de Galápagos (Negoita et al., 2021). En la Fase II, el programa está agregando dos nuevas tecnologías: Groasis Growboxx® y Biochar (p. 14-15).

ESTRATEGIAS GENERALES DE RESTAURACIÓN

A continuación, se presenta una descripción de las diferentes estrategias de restauración propuestas para ejecutar el Plan de Restauración en cada isla.

REGENERACIÓN ASISTIDA

La regeneración asistida es el proceso de eliminar activamente las causas de la degradación o la reincorporación de componentes bióticos faltantes. Esto puede incluir control de especies exóticas, reintroducción³ de especies, creación de hábitats, entre otras intervenciones. El proceso también se denomina "restauración activa" (Gann et al., 2019).

³Reintroducción: se refiere a la liberación intencional de una especie en un área donde estuvo presente en el pasado, pero donde se encuentra localmente extinta en el presente.

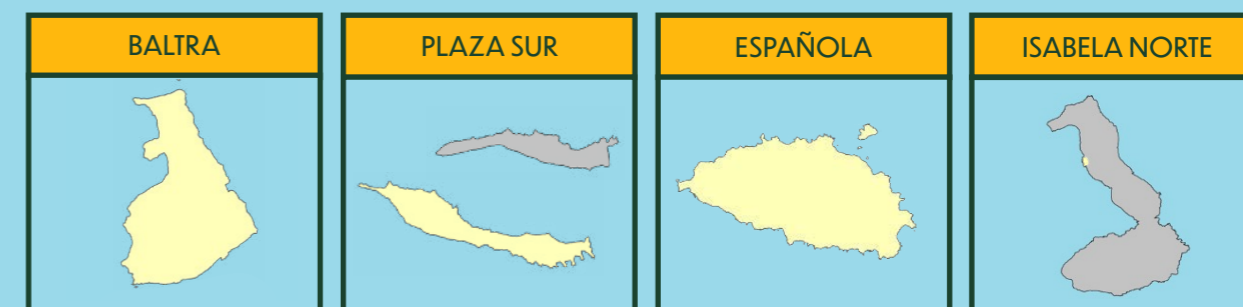
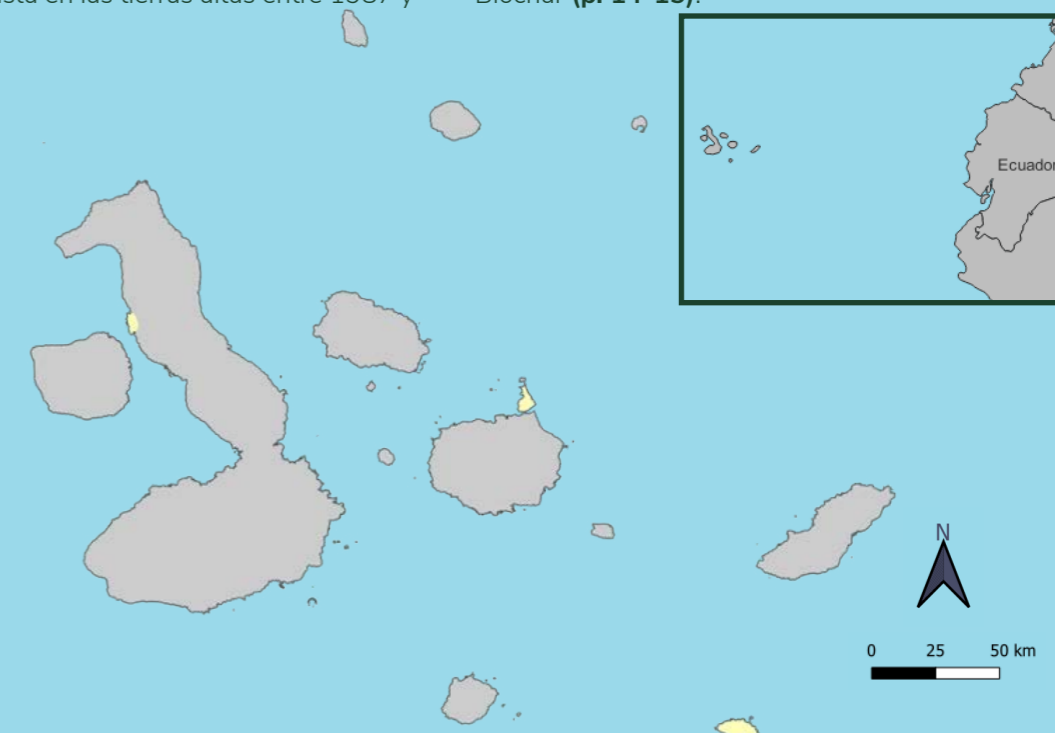


Fig. 1. Mapa de las cuatro islas cubiertas por este Plan de Restauración. El amarillo indica el área destinada a las actividades de restauración.

GROASIS WATERBOXX®

Descripción: Un recipiente de polipropileno que se llena de agua en el momento de la siembra y que se rellena con la lluvia y el rocío. Las plántulas, sembradas en el centro, reciben agua a través de una mecha de nailon en el fondo del recipiente.

Características:

- Aumenta la disponibilidad de agua en el suelo.
- Protección contra la herbivoría terrestre.
- Protección contra la sobreexposición a la luz solar.
- Reutilizable, pero debe retirarse de cada planta después de varios años.

Protocolo de riego: Plántulas sembradas con 5 L de agua en el suelo. Luego, el Waterboxx se llena con aproximadamente 15 L de agua al momento de la siembra. El Waterboxx también recoge agua adicional de la lluvia y el rocío.

COCOON

Descripción: Un recipiente biodegradable que solo recibe agua al momento de la siembra. Las plántulas se colocan en el centro del recipiente y reciben agua a través de dos mechas de nailon.

Características:

- Aumenta la disponibilidad de agua en el suelo.
- 99% biodegradable.

Protocolo de riego: Las plántulas de Cocoon se siembran con 5 litros de agua en el suelo. Luego, se coloca el recipiente dentro del hoyo de plantación con la planta en el agujero central, se lo llena con 15 L de agua, se lo tapa, y se lo cubre con tierra.

GROASIS GROWBOXX®

Descripción: Una caja cuadrada con un agujero en el medio, hecha de pulpa de papel reciclado que se puede usar para sembrar una vez. Se coloca alrededor de un árbol joven pero tiene cuatro pequeñas depresiones en la tapa donde se pueden colocar tierra y

semillas para germinarlas hidropónicamente en el agua almacenada en el Growboxx.

Características:

- Aumenta la disponibilidad de agua en el suelo.
- 99% biodegradable.

Protocolo de riego: Las plántulas de Growboxx se plantan con 10 litros de agua en el suelo. Luego, se llena el recipiente con una mezcla de 10 L de agua y tierra.

CONTROL

Descripción: Las plántulas se siembran en el suelo sin el uso de ninguna tecnología.

Características:

- No requiere remoción de tecnologías.
- Requiere agujeros más pequeños.
- La siembra se realiza más rápidamente.

Protocolo de riego: Las plantas se siembran con aproximadamente 20 litros de agua aplicados a la base de la plántula y no se aplica más agua después de plantar.

HIDROGEL

Descripción: El hidrogel es un polvo de polímero biodegradable que puede aumentar la capacidad de retención de agua del suelo hasta en un 400%, aumentando así la disponibilidad de agua para las plantas.

Características:

- Aumenta la disponibilidad de agua en el suelo.
- 100% biodegradables.

Protocolo de riego:

El Hidrogel en polvo se hidrata inicialmente en una proporción de 12,5 g por litro de agua y se mezcla 1L de esta solución con la tierra al momento de la siembra.

BIOCHAR

Descripción: El biochar es un producto de pirólisis, donde se quema biomasa agrícola o forestal en condiciones de oxígeno reducido.

Características:

- Aumenta la disponibilidad de agua en el suelo.
- Almacenamiento a largo plazo

del carbono del suelo.

- Mejora la retención de nutrientes.
- Mejora la actividad microbiana.

Protocolo de riego:

Las plántulas se siembran con 10 L de agua antes y después de enmendar el suelo con 13 g de Biochar.



Restauración mediante nucleación aplicada

La plantación de árboles en núcleos o parches se ha propuesto como una estrategia de restauración activa de bajo costo que promueve la restauración mediante la dispersión de semillas y simula procesos de sucesión naturales (Zahawi et al., 2013). Gibbs (com. pers. 2016) sugirió crear una serie de parches de vegetación en Baltra para aumentar la conectividad de áreas menos perturbadas a través del movimiento de vida silvestre. Se sabe que las iguanas terrestres, las tortugas gigantes y varias especies de aves se alimentan de frutos de plantas nativas y endémicas, lo que facilita la dispersión de semillas a través de sus heces (Heleno et al., 2011; Racine y Downhower, 1974). Además, para maximizar los beneficios a gran escala de las iniciativas de restauración, se puede utilizar la nucleación aplicada para vincular los sitios de restauración y mejorar la conectividad entre ellos (Gann et al., 2019).



Control de especies introducidas

El control de las especies introducidas debe considerarse antes de cualquier proyecto de restauración (Glen et al., 2013), para reducir las amenazas y aumentar el éxito de los proyectos. En Galápagos, dada su ocupación histórica y el aumento de la conectividad entre las islas y el continente a través de la movilización provocada por el hombre, se han introducido múltiples especies (Toral-Granda et al., 2017). Desde la creación del PNG se han realizado varias acciones para erradicar mamíferos invasores, como gatos, roedores y cabras (Balseca, 2002; Phillips et al., 2005). Particularmente para las plantas, la FCD lidera un proyecto dirigido al control de especies invasoras y la restauración de *Scaevola pedunculata* en la zona húmeda de las cuatro islas habitadas (Rentería, 2011; Walentowitz et al., 2021). Por lo tanto, durante todo el proceso de restauración se debe considerar el control y erradicación de especies introducidas de gran tamaño, así como de otras más pequeñas, como plagas y malezas (Tu et al., 2001; Jaramillo et al., 2024).

OPORTUNIDADES DE REGENERACIÓN NATURAL

La regeneración natural es el proceso de recolonización espontánea en un área degradada y generalmente se la denomina "restauración pasiva" (Gann et al., 2019). El vínculo entre el reclutamiento y la sucesión hace que este proceso sea el enfoque más rentable para la restauración de ecosistemas (Shono et al., 2007). Las oportunidades para acelerar o reforzar la regeneración natural requieren menos recursos y suelen ser menos costosas que las prácticas tradicionales de restauración activa (Shono et al., 2007; Vieira y Scariot, 2006). Si bien se necesita una restauración activa en algunas áreas de Galápagos, complementarla con oportunidades de regeneración natural podría conducir a una recuperación de ecosistemas más rápida y rentable.

Además, una de las principales limitaciones para restaurar ecosistemas degradados en Galápagos es la gran cantidad de mano de obra y financiación

necesarios. El costo estimado de restauración por hectárea en Baltra es de aproximadamente \$75.000 considerando toda la comunidad vegetal, mientras que el costo de restauración de una hectárea de Plaza Sur, específicamente para la población de *Opuntia echios* var. *echios* es de \$21.250 (Negoita et al., 2021). Estas estimaciones se basan en la implementación de las tecnologías ahorradoras de agua más rentables para cada isla y especie. En Plaza Sur, el costo de restaurar *Opuntia* se basa en una población objetivo de 2.000 individuos (Suloway y Noonan, 2015). Reducir estos costos mejorando la regeneración natural tiene el potencial de facilitar la ampliación de las actividades de restauración en Galápagos.



Aprovechamiento de la lluvia de semillas

Esta estrategia implica gestionar el área alrededor de agrupaciones de vegetación nativa, que tiene una alta deposición de semillas, para aumentar el reclutamiento natural. La dispersión de semillas es un proceso crítico para mantener y expandir los parches de vegetación nativa. Los arbustos y árboles leñosos a menudo liberan semillas cerca de su dosel y atraen a los dispersores de semillas con fuentes de alimento, estructuras para posarse y protección contra los depredadores. Para mejorar el reclutamiento de plántulas nativas cerca de arbustos y árboles establecidos, se pueden emplear claros en forma de donas. Esto puede ayudar a minimizar la competencia entre las plantas nativas y las malezas que emergen de estas semillas. Sin embargo, este enfoque debe evaluarse cuidadosamente a pequeña escala para evaluar su impacto en la vegetación nativa antes de implementarlo en áreas más grandes. Algunas de las complejidades de las medidas de control de plantas, tanto objetivo como no objetivo, se explican en Gardener *et al.*, (2010); Gerzabek *et al.*, (2019); Khatun (2018). Consulte el Apéndice A para obtener una lista de estrategias de control de malezas que se pueden utilizar alrededor de plantas leñosas nativas o antes de los eventos de siembra.

Facilitación por plantas nodrizas

Esta estrategia consiste en identificar plantas nodrizas y proteger plántulas de especies asociadas debajo de ellas. Las plantas nodrizas pueden aumentar el crecimiento y la supervivencia de las plantas al brindarles protección contra herbívoros, nutrientes, humedad del suelo, sombra y protección contra el viento. Este proceso, conocido como "facilitación", es particularmente importante en ambientes hostiles donde crecer cerca de otras plantas mejora las condiciones microambientales (Padilla y Pugnaire, 2006).



EL NIÑO: RIESGOS Y RECOMPENSAS PARA LA RESTAURACIÓN DE PLANTAS DE GALÁPAGOS

El ciclo de El Niño Oscilación del Sur (ENSO, por sus siglas en inglés) introduce condiciones climáticas atípicas que pueden aprovecharse estratégicamente para acelerar las iniciativas de restauración. ENSO se manifiesta en tres fases principales: El Niño, La Niña y una fase neutral. Este ciclo ocurre en promedio cada dos a siete años. La fase de El Niño se caracteriza por mayores precipitaciones que resultan en un mayor establecimiento y crecimiento de especies nativas (Gibbs, 2013). Sin embargo, el efecto de El Niño sobre la vegetación es variable; algunas especies experimentan una mayor mortalidad además de la regeneración. Por ejemplo, Tye y Aldáz (1999) describen una mayor mortalidad de plantas adultas de *Opuntia* spp. y *Scalesia crockeri* seguida de una abundante regeneración alrededor de los adultos fallecidos después del evento de El Niño de 1997. Grant y Grant (1989) observaron disminuciones en *Opuntia* jóvenes en los eventos de El Niño de 1982-3 y 1987, en las islas Española, Genovesa y Daphne. El aumento de mortalidad se debe a que *Opuntia* absorbe tanta agua que algunas colapsan durante condiciones de viento (Gibbs, 2013). Otro factor que podría estar involucrado es la pudrición de las raíces debido a suelos saturados.

Proteger a los reclutas que crecen naturalmente durante los eventos de El Niño puede aumentar el número que sobrevive hasta la madurez, reemplazando a los adultos muertos y aumentando

las poblaciones de *Opuntia*. Cuando abunden las plántulas y/o plantas derivadas de cladodios alrededor de una *Opuntia* muerta, recomendamos realizar pruebas con translocación⁴ de plántulas, frutos, cladodios frescos y enraizados. Las plántulas/cladodios deben trasladarse lejos de los adultos colapsados a áreas con menor presión de herbivoría y con mayor elevación, lo que facilitará el drenaje del agua de lluvia. Los individuos translocados se pueden plantar utilizando estrategias de protección física y herramientas de restauración ecológica. Además, como la mayoría de las especies se beneficiarán de un mayor suministro de agua en los años húmedos, las actividades de regeneración asistida pueden beneficiarse de la repatriación⁵ de plantas durante los años de El Niño. Una última estrategia a considerar durante los eventos de El Niño es el control de malezas. Grant y Grant (1989) describieron un bajo reclutamiento y una alta mortalidad de plántulas después del crecimiento desenfrenado de enredaderas y otras plantas causado por el evento de El Niño de 1982-83. Este informe sugiere que, debido a todo el crecimiento de las plantas, es importante aumentar los esfuerzos de control de malezas durante los eventos de El Niño para la supervivencia de los jóvenes reclutas. Hacer coincidir la siembra de plántulas con El Niño puede aumentar las tasas de supervivencia debido al aumento de las precipitaciones (Gibbs, 2013, 2016).

⁴Translocación: En este texto, 'translocación' se refiere al traslado de individuos de un lugar a otro dentro del mismo hábitat natural de la especie.

⁵Repatriación: se refiere al proceso de devolver individuos de una especie a su hábitat nativo o original después de haber sido removidos, ya sea por fines de conservación, investigación o debido a impactos humanos



ESTRATEGIAS DE PROTECCIÓN FÍSICA

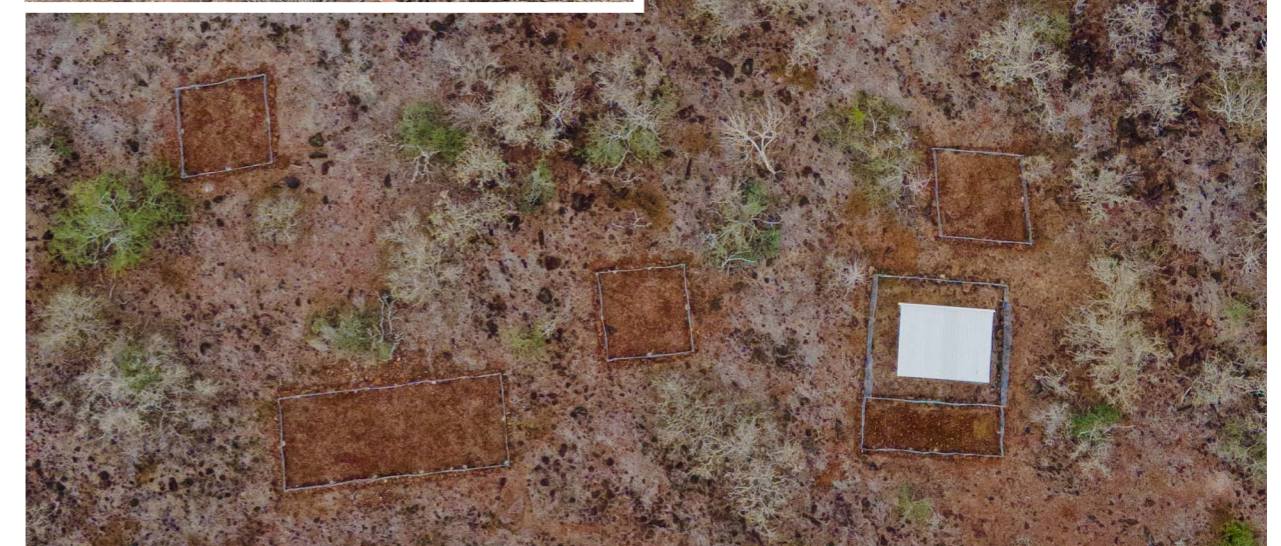
Proteger las plantas en sus primeras etapas de crecimiento es crucial, ya que son más vulnerables a los daños. Las plántulas corren el riesgo de ser aplastadas y algunas especies, como los cactus *Opuntia*, son particularmente susceptibles al daño de los herbívoros. Las *Opuntia* son una fuente vital de alimento para iguanas terrestres y tortugas gigantes, que desempeñan un papel importante en la dispersión de semillas de la especie. (Tapia *et al.*, 2021; Tapia y Gibbs, 2022). En los ecosistemas donde las poblaciones de *Opuntia* son abundantes, los herbívoros tienen suficiente alimento para comer frutos, cladodios caídos y plántulas. Sin embargo, en ecosistemas degradados donde las *Opuntia* son escasas, los herbívoros consumen más plántulas, lo que dificulta la regeneración. Por lo tanto, para restaurar estos ecosistemas, es esencial proteger las plántulas de *Opuntia* hasta que sean lo suficientemente grandes como para resistir la herbivoría. A medida que las plantas de *Opuntia* maduran, sus espinas se vuelven más robustas, lo que las hace menos susceptibles a la depredación.

Círculos de roca

Colocar círculos de rocas alrededor de las plántulas proporciona sombra, cierta protección contra la herbivoría y evita que las plantas sean aplastadas accidentalmente. Esta estrategia proporciona la menor protección contra la herbivoría, pero tiene varios beneficios prácticos. Las rocas están disponibles y son fáciles de colocar para formar círculos. El método también facilita la identificación de las plantas objetivo entre otra vegetación y las protege de daños por parte de animales o humanos. Hay plantas de Galápagos que parecen preferir crecer en terrenos rocosos. Un par de ejemplos incluyen *Galvezia leucantha*, que crece en grietas de lava en el norte de Isabela, y *Bursera graveolens*, que se ha observado que prefiere terrenos rocosos en Seymour Norte y posiblemente en otros lugares (Calle-Loor *et al.*, 2022).

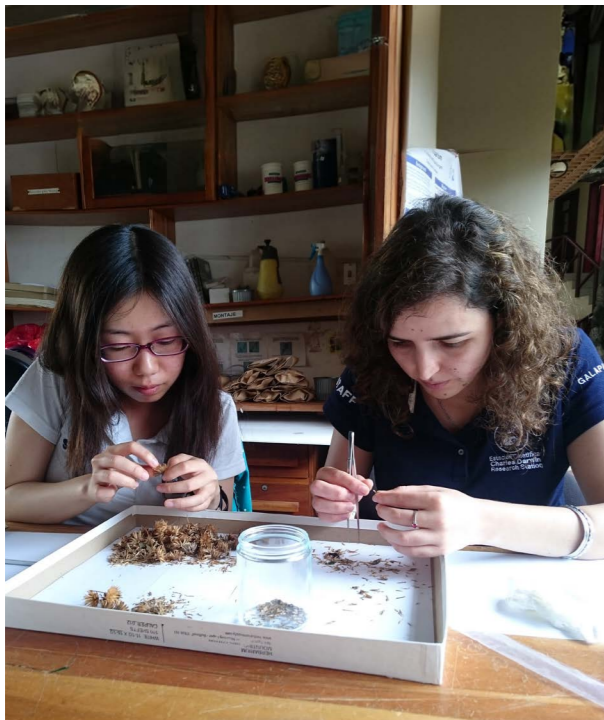
Cercas metálicas

Las cercas metálicas son ampliamente utilizadas en Galápagos para proteger las plántulas de *Opuntia* de la herbivoría de iguanas y tortugas hasta que las plantas sean lo suficientemente grandes como para tolerar la depredación. Las cercas colocadas alrededor de plantas individuales son efectivas para proteger a unos pocos individuos dispersos en un sitio de restauración grande o cuando no se desea restringir el movimiento de los herbívoros a través del sitio. Los cercados más amplios son útiles cuando se plantan grupos con una alta densidad de plantas, por ejemplo, en parcelas experimentales. El costo de los cercados para agrupaciones es menor que el de las cercas individuales, ya que requieren menos materiales y mano de obra por individuo plantado. En la Isla Española, los cercados para agrupaciones han sido más efectivos que las cercas individuales para prevenir la herbivoría de las tortugas hacia los cactus de *Opuntia*. Mientras que las tortugas gigantes aplastaron algunas cercas individuales, un cercado más grande que abarca aproximadamente 50 cladodios ha permanecido intacto durante más de tres años.



Cercas vivas

Otra alternativa es la siembra de arbustos espinosos nativos y endémicos como cerca perimetral alrededor de plantas susceptibles a la depredación de grandes herbívoros, como *Opuntia*. Si bien las cercas metálicas han funcionado bien para prevenir la herbivoría en la mayoría de las islas, pueden ser consideradas como poco estéticas por los visitantes y es necesario retirarlas una vez que la planta alcanza cierto tamaño. Además, en algunas islas como Plaza Sur, se deterioran rápidamente debido al ambiente salino. Las cercas vivas representan una alternativa que reduce la herbivoría, proporciona sombra beneficiosa y protección contra el viento. Es probable que diferentes especies y densidades de arbustos ofrezcan diferentes niveles de protección. Se ha demostrado que las especies que son desagradables para los herbívoros protegen especies de plantas sensibles en otros ecosistemas (Callaway *et al.*, 2005). Podrían ser especies que están presentes en el hábitat de los herbívoros pero que rara vez se encuentran en muestras de sus heces. Para determinar la eficacia de diferentes especies de arbustos para proteger las plántulas, primero probaremos cercas compuestas por una sola especie. Aquellos con mejores resultados se pueden utilizar para plantar cercas de especies mixtas.



SELECCIÓN DE ESPECIES

Elegir las especies apropiadas para cada sitio es un paso crítico para garantizar el éxito de un proyecto de restauración. Las especies seleccionadas deben adaptarse bien al ecosistema local. Para guiar esta selección, entran en juego varias consideraciones clave.

Distribución histórica

En Galápagos se han utilizado varios métodos para confirmar la presencia histórica de diferentes especies de plantas, incluidos estudios de polen fósil, registros de herbarios y estudios botánicos históricos (Restrepo *et al.*, 2012; Stewart, 1911; van Leeuwen *et al.*, 2008). Curiosamente, los estudios de polen fósil han revelado que algunas plantas que se creían introducidas son, de hecho, nativas de Galápagos (Restrepo *et al.*, 2012; van Leeuwen *et al.*, 2008).

Los registros de herbario proporcionan instantáneas históricas de especímenes de plantas, catalogando detalles como fechas de recolección, taxonomía e información geográfica. Estas colecciones también documentan cambios en el área de distribución de las especies de plantas, la invasión de especies invasoras y el estado de plantas raras o en peligro de extinción. En consecuencia, desempeñan un papel crucial en



la restauración ecológica al proporcionar registros de las especies de plantas originalmente presentes en un sitio antes de la degradación ambiental. En particular, el herbario CDS representa un recurso importante en las Islas Galápagos, ya que alberga una colección de más de 45.000 especímenes, que abarca plantas introducidas, nativas y endémicas.

Los estudios botánicos históricos arrojan luz sobre cómo han evolucionado los ecosistemas a lo largo del tiempo. Los primeros estudios botánicos de Galápagos, como aquellos realizados durante el viaje de Charles Darwin en el HMS Beagle (1835), la primera expedición de la Academia de Ciencias de California (CAS) (1905-1906) y la expedición de Allan Hancock (1933-1934) tienen especial importancia en este contexto. Contribuyen a comprender la vida vegetal de la región antes de que ocurriera una degradación significativa.

Estado de conservación de la Lista Roja de la UICN

La Lista Roja de la UICN desempeña un papel vital a la hora de guiar la selección de especies para la restauración, ya que la conservación de la biodiversidad y la integridad de los ecosistemas son objetivos primordiales de la restauración ecológica. Para lograr estos objetivos, es crucial identificar y priorizar las especies en peligro de extinción en las áreas de restauración. En Galápagos, donde más de la mitad de las especies de plantas endémicas están amenazadas, es esencial abordar este desafío. Según el Libro Rojo de las Plantas Endémicas del Ecuador, el 12% se encuentran catalogadas como En Peligro Crítico (CR), el 15% en Peligro (EN), y el 32% en Vulnerable (VU) (León-Yáñez *et al.*, 2011). Recuperar especies en peligro de extinción mediante la implementación

de estrategias apropiadas puede tener un doble beneficio. Puede abordar tanto las necesidades de las especies mismas como las necesidades de los ecosistemas de los que forman parte. Los aspectos clave de la recuperación de especies en peligro incluyen monitorear el estado de las poblaciones, identificar y mitigar las principales amenazas y evaluar la efectividad de varias estrategias de recuperación. Este Plan de Restauración se centra en la recuperación de cinco especies en peligro de extinción (**Tabla 1**) y sus hábitats principales, una estrategia destinada a conservar la biodiversidad, sostener interacciones ecológicas intrincadas y defender la integridad ecológica y la resiliencia de los ecosistemas de Galápagos.

Isla	Localidad	Familia	Especie
Isabela Norte	Playa Tortuga Negra	Plantaginaceae	<i>Galvezia leucantha</i> subsp. <i>leucantha</i>
Española	Punta Manzanillo y 4 islotes	Asteraceae	<i>Lecocarpus lecocarpoides</i>
Española	En toda la isla	Cactaceae	<i>Opuntia megasperma</i> var. <i>orientalis</i>
Plaza Sur	En toda la isla	Cactaceae	<i>Opuntia echios</i> var. <i>echios</i>
Baltra	En toda la isla	Cactaceae	<i>Opuntia echios</i> var. <i>echios</i>

Tabla 1. Tabla de plantas en peligro de extinción endémicas de Galápagos y abordadas en este Plan de Restauración. El estado de la UICN de otras especies de plantas endémicas en Baltra se puede encontrar en la Tabla 2. Estado de la UICN de especies endémicas extraído del Libro Rojo de Plantas Endémicas del Ecuador (León- Yáñez *et al.*, 2011).

Función del ecosistema

Seleccionar especies para restauración de acuerdo con su función ecosistémica es crucial para garantizar la recuperación exitosa y la resiliencia de los ecosistemas degradados. Este enfoque implica evaluar el papel ecológico de las especies presentes dentro del ecosistema y priorizar aquellas que contribuyen de manera más efectiva a los objetivos de restauración. Este fue un criterio importante para la selección de especies de Baltra, que se presentan en la **Tabla 2** junto con información sobre su rol en el ecosistema.

Las especies clave⁶ e ingenieras son dos tipos de especies a las que se debe dar prioridad por su papel fundamental en el mantenimiento de la integridad y la resiliencia de los ecosistemas (DPNG, 2014). Un ejemplo notable de especies clave en Galápagos son las especies del género *Opuntia*, que sirven como fuente principal de alimento para las iguanas terrestres y las tortugas gigantes, además de proporcionar alimento, sitios de anidación y refugio para aves nativas. Es por esto que trabajamos para restaurar *Opuntia* spp. en Baltra, Española y Plaza Sur.

⁶Especies clave: Las especies clave son aquellas que tienen un impacto desproporcionadamente grande sobre su comunidad o ecosistema en relación con su abundancia (Power *et al.*, 1996).



BALTRA

BALTRA—OBJETIVO

La Isla Baltra está ubicada al norte de la Isla Santa Cruz y tiene una superficie aproximada de 26 km² (Snell *et al.*, 1996). Su baja elevación (~60 m) la ubica completamente dentro de la zona árida. Tiene una temperatura media de 24 °C y una precipitación media anual de 97,5 mm (Hamann, 1979). Baltra alberga el principal aeropuerto de Galápagos, que fue modernizado en 2013 y catalogado como “Aeropuerto Ecológico de Galápagos” (ECOGAL). La aridez, la falta de topografía y los suelos pobres hacen que la restauración del ecosistema en la isla sea un desafío y un proceso prolongado (Gibbs, 2013).

La Isla Baltra ha sido devastada por impactos humanos y especies introducidas. En particular, cabras, roedores y gatos han provocado grandes cambios en el ecosistema y en las poblaciones tanto de especies endémicas emblemáticas como las iguanas terrestres y los cactus de *Opuntia*, como de otras menos visibles pero igualmente

importantes como lagartijas, aves e insectos (Balseca, 2002; Jaramillo, 2009). La vegetación de la isla ha sufrido notables transformaciones, como la pérdida de estructura de la vegetación arbustiva nativa y la introducción de la ahora abundante planta herbácea *Cleome viscosa* (Velasco *et al.*, 2024). *Cleome viscosa* no solo se ha establecido en Baltra y Seymour Norte, sino que también se ha extendido a varias otras islas dentro del archipiélago (Guerrero *et al.*, 2008; Traveset *et al.*, 2013).

La población de iguanas de Baltra desapareció durante la década de 1940 debido a la destrucción del hábitat por parte de las cabras y la construcción de una Base Aérea de los Estados Unidos durante la Segunda Guerra Mundial (Cayot, 1991). Afortunadamente, en 1932-33, antes de la extinción de las iguanas terrestres, 70 individuos fueron trasladados a Seymour Norte, una pequeña isla 800 m al norte donde no había cabras ni iguanas terrestres (Cayot y Menoscal, 1994; Jaramillo *et al.*, 2017; Woram, 1991). En la década

de 1980, se inició un programa de cría en cautiverio en Santa Cruz con iguanas de Seymour Norte; el cuál culminó en 2006 tras la exitosa repatriación de iguanas terrestres a Baltra (Buitrón, 2000; Cayot y Menoscal, 1994).

La reintroducción de iguanas terrestres constituyó un primer paso crítico en el proceso de restauración ecológica de Baltra. Este éxito estuvo acompañado de la erradicación de cabras y gatos, que se produjo en 2000 y 2004 respectivamente (Phillips *et al.*, 2005). La erradicación de los primeros fue un paso importante hacia la restauración ecológica de la isla, ya que estos mamíferos salvajes se alimentaron de las comunidades de plantas durante más de un siglo (Phillips *et al.*, 2012).

En 2013, un proyecto piloto desarrollado por el GV2050 probó la viabilidad de utilizar la tecnología Waterboxx para acelerar el proceso de restauración en Baltra. Después de obtener resultados prometedores, se realizaron experimentos con Waterboxx, Cocoon e hidrogel con varias especies

de plantas nativas y endémicas y se compararon con controles sin tratamiento para evaluar tanto la supervivencia como el crecimiento de las plántulas (Fig. 2) (Hoff, 2014; Land Life Company, 2015). Estos experimentos se establecieron en 8 sitios y cubren un área de 3,9 ha (Negoita *et al.*, 2021). Entre los resultados destacados se encuentra una estimación del costo de restaurar una hectárea en Baltra de \$74.848 utilizando las combinaciones más costo-efectivas de especies y tecnologías. Sin embargo, en el escenario de que sólo el 10% de la isla se restaure en parches que podrían servir como núcleos de colonización, el costo para toda la isla se reduciría a \$15,5 millones (\$7.484/ha). Así, en agosto de 2023 se creó un primer piloto del GV2050 utilizando esta metodología cerca del aeropuerto de Baltra. Este parche está compuesto por 36 parcelas de 10 m², que actúan como núcleos, con 30 plántulas de *Opuntia* en cada parcela.

SITIOS DE RESTAURACIÓN EN BALTRA

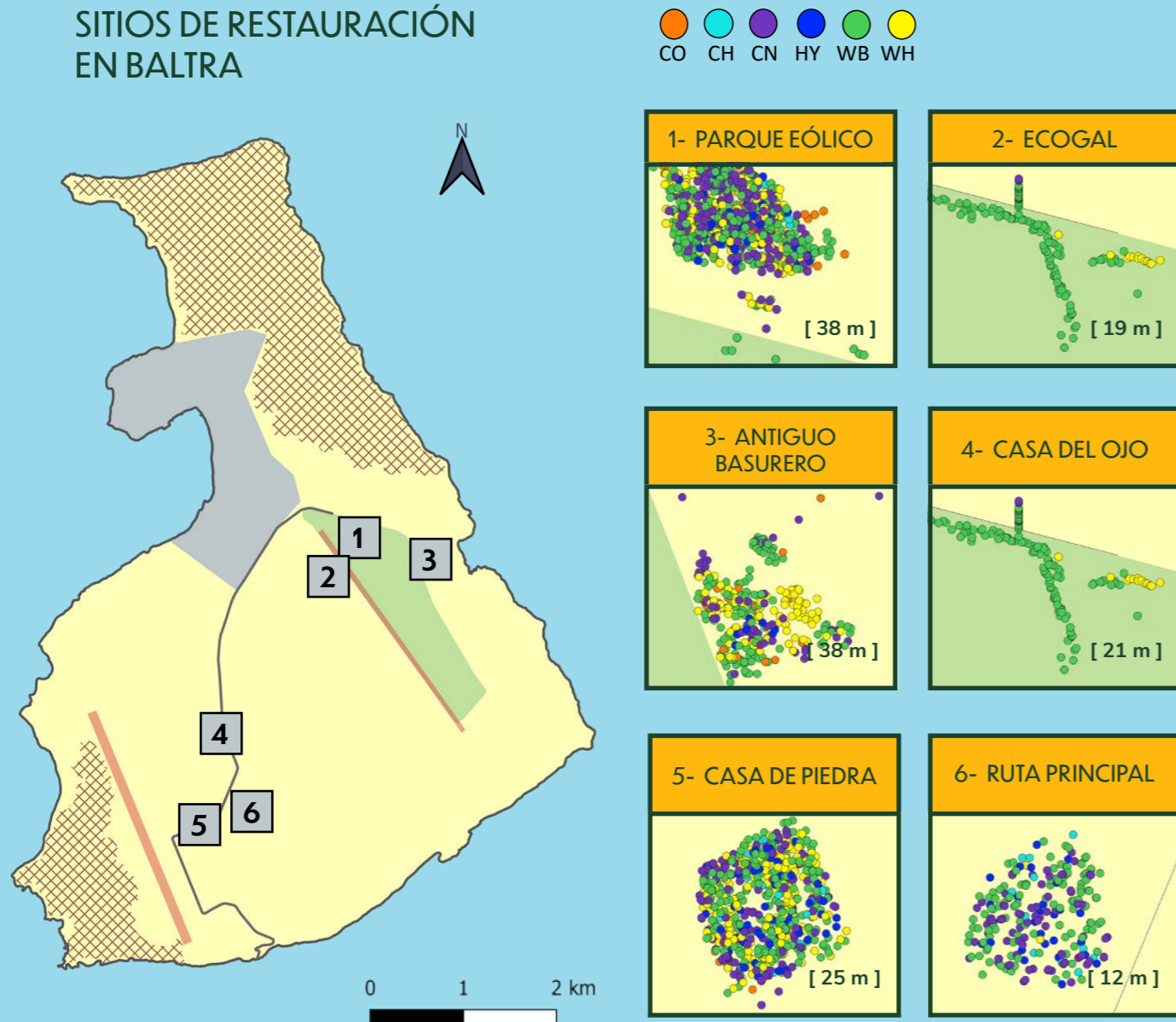


Fig. 2. Sitios de estudio en la isla Baltra. Acrónimos de tratamientos: CO, Cocoon; CH, Cocoon más Hidrogel; CN, Control; HY, Hidrogel; WB, Waterboxx; WH, Waterboxx más Hidrogel. El mapa principal muestra áreas antropogénicas: la base de la fuerza aérea (gris), el aeropuerto (verde), la ruta principal (línea gris) y las pistas de aterrizaje (barras naranjas). En rojo discontinuo se representan las zonas menos degradadas de la isla. Fuente de datos y elaboración de mapas: DPNG, FCD, Equipo GV2050.

BALTRA—OBJETIVO

Contribuir a la restauración de Baltra plantando 15 especies clave, conectando los ecosistemas del noreste y suroeste, utilizando un modelo de referencia, considerando las áreas reservadas para uso humano.



BALTRA—ACCIONES DE RESTAURACIÓN

Desarrollar un modelo de referencia para la restauración de la vegetación de Baltra utilizando tres ecosistemas de referencia

El Plan de Restauración publicado en 2017 estableció como objetivo de restauración para Baltra 3000 plantas de diferentes especies nativas y endémicas para restaurar procesos ecológicos en 5 hectáreas, con base en conocimiento de expertos (Jaramillo *et al.*, 2017). Este objetivo ha servido como guía importante para nuestro trabajo de restauración. Sin embargo, para los siguientes pasos, siguiendo principios de manejo adaptativo, se necesitan objetivos más refinados (Velasco *et al.*, 2024).

Un modelo de referencia describe la condición aproximada del ecosistema objetivo si no se hubiera producido degradación (Gann *et al.*, 2019; Winterhalder *et al.*, 2004). Un modelo de referencia puede ayudarnos a definir objetivos para varios atributos clave del ecosistema que incluyen la composición de especies, la diversidad estructural, la función del ecosistema, la ausencia de amenazas y las condiciones físicas (Gann *et al.*, 2019). En el caso de Baltra, se han identificado tres opciones como posibles sitios de referencia, las áreas de vegetación intacta de Baltra, la Isla Seymour Norte y la costa norte de la Isla Santa Cruz. Estos lugares comparten muchas similitudes debido a su proximidad y su origen geológico común. Todas eran originalmente mesetas de

lava submarinas que hoy están separadas entre sí por canales estrechos (Franz, 1980). En 2021 y 2022, se llevaron a cabo estudios ecológicos en Seymour Norte y Baltra para evaluar su vegetación, presencia animal y variables ambientales como cobertura de roca y pendiente de terreno. Durante los estudios se observó la aparente disminución de la población de *Opuntia* y la presencia de escombros metálicos, lo que sugiere un mayor impacto humano de lo esperado. Por esta razón, sugerimos utilizar como sitio de referencia adicional la costa norte de Santa Cruz, que ha sufrido menos degradación y tiene una vegetación similar a la de Baltra. Planeamos aplicar una metodología similar a estudios ecológicos anteriores (Calle-Loor *et al.*, 2022) y utilizar la información recopilada de las tres áreas de referencia para crear un modelo de referencia para restaurar áreas degradadas de Baltra. Debido a las observaciones de alta herbivoría de *Opuntia* por parte de iguanas terrestres en Seymour Norte, las interacciones y la dinámica poblacional entre estas dos especies deben estudiarse en Seymour Norte y Baltra. Esta información es importante para prevenir tanto la sobreproducción como un déficit poblacional.

Demarcar un área de restauración que conecte la vegetación intacta en Baltra, para ayudar a la regeneración natural

Según Gibbs (2013), la primera prioridad para restaurar la comunidad vegetal en Baltra debería ser la creación de una red de parches plantados que conecten los arbustales del noreste y el suroeste. Los hallazgos del estudio de Baltra del 2022 revelan una mayor riqueza de especies leñosas y cactus dominantes dentro de estas dos regiones en contraste con el área central de la isla (Velasco *et al.*, 2024). Los parches propuestos pueden conectar estas dos áreas y favorecer el movimiento de vida silvestre y dispersión de semillas, facilitando el proceso de regeneración natural. Los criterios para la demarcación de los parches de restauración pueden incluir:

- Incorporación de sitios de restauración existentes y planificados.
- Evitar sitios con actividades humanas en curso o planificadas que puedan afectar los objetivos de restauración o conservación, como proyectos de construcción, plantas de energía y desarrollo de infraestructura.
- Proximidad a caminos secundarios para acceso para siembra, mantenimiento y monitoreo.



- Distancia a la ruta principal, para evitar crear hábitats cercanos a ella que puedan incrementar los choques de animales. La ruta principal tiene mucho más tráfico que los caminos secundarios.
- Baja presencia de terreno rocoso para facilitar excavar huecos durante la plantación.
- Proximidad al hábitat de dispersores de semillas conocidos (p. ej., iguanas terrestres, aves). Esto aumentará las posibilidades de que estos animales utilicen el área de restauración y aumentará la dispersión de semillas.
- Distancia al aeropuerto, para evitar la creación de hábitat favorable cerca de las pistas de aterrizaje que podrían aumentar el peligro de choque con animales.

Obtener y almacenar suficientes semillas para fines de restauración e investigación

Los siguientes pasos de restauración (p. 30 a p.32) requerirán una cantidad sustancial de semillas para producir plántulas de 15 especies prioritarias. Se ha descubierto que la disponibilidad de semillas nativas es un factor limitante para cumplir los objetivos de restauración, lo que a menudo genera retrasos en la implementación y una reducción en la composición de especies prevista originalmente (Erickson y Halford, 2020). Todas las semillas para restauración en Baltra provienen de poblaciones naturales. Por lo tanto, para asegurar suficientes semillas de alta calidad y al mismo tiempo proteger la integridad de las poblaciones donantes, se debe considerar la obtención de semillas durante la etapa de planificación y se deben seguir lineamientos estándar (De-Vitis *et al.*, 2020; Erickson y Halford, 2020; Pedrini y Dixon, 2020). En particular, es fundamental seguir las siguientes guías de Pedrini y Dixon (2020):

- Para proteger la viabilidad de las poblaciones de donantes silvestres, no se debe recolectar más del 20% de la semilla producida en una temporada, especialmente cuando se trabaje con especies en peligro de extinción. Para las especies anuales, esto puede ser tan bajo como el 10%.
- Para representar adecuadamente la diversidad genética de la población, las semillas deben seleccionarse al azar entre varios individuos. Para agrupaciones grandes y continuas de plantas, es más apropiado un enfoque sistematizado, como el muestreo regular a lo largo de un transecto.
- Para garantizar una buena semilla, madura y lista para cosechar, se debe tomar una pequeña muestra y realizar una evaluación visual de la madurez/llenado de la semilla antes de comenzar la recolección.

En Galápagos existen dos estaciones climáticas, una estación cálida y lluviosa de enero a mayo y una estación fría y seca de junio a diciembre (Trueman y d'Ozouville, 2010). En general, la época de floración de las especies nativas y endémicas de las tierras bajas ocurre durante la temporada cálida y lluviosa (McMullen, 1993), seguida por la época de maduración de las semillas de abril a junio. La pérdida de semillas se puede evitar identificando especies con un tiempo de maduración corto. Se puede crear un perfil fenológico utilizando especímenes de herbario para determinar el momento óptimo para la recolección de semillas.



Evaluar el uso de herramientas de restauración ecológica con 15 especies prioritarias para la restauración de Baltra

Para ampliar el análisis inicial de costo-efectividad de las herramientas de restauración ecológica en Baltra realizado por Negoita et al. (2021), se debe realizar una nueva evaluación. Esta deberá abarcar especies y tecnologías no evaluadas previamente, así como datos recopilados durante períodos más extensos para aquellas que si fueron evaluadas. Aunque Negoita et al. (2021) estimaron las tasas de supervivencia a dos años de siete especies de Baltra utilizando varias herramientas de restauración ecológica; algunas especies no fueron evaluadas con todos los tratamientos debido a tamaños de muestra inadecuados. Por lo tanto, la evaluación debería ampliarse a las ocho especies prioritarias restantes (p. 34-35). Además, el estudio debería incorporar tecnologías y especies adicionales no evaluadas previamente, excepto la tecnología Cocoon, que resultó ineficaz para Baltra y debería excluirse del nuevo análisis. El ambiente

árido no facilitó la biodegradación de la caja y no ha demostrado un mejor crecimiento y supervivencia que otras tecnologías.

Como el biochar no ha sido probado en Baltra, se deben realizar pruebas preliminares antes de proceder a experimentos más amplios. Entre las 15 especies prioritarias, se deben priorizar las especies dominantes y fijadoras de nitrógeno, ya que tienen un impacto sustancial en la recuperación de la comunidad vegetal. Es fundamental considerar la disponibilidad de semillas y plántulas para su análisis al planificar cada sesión de siembra. Durante la nueva evaluación, se recomienda excluir riego adicional o mantenimiento de herramientas de restauración ecológica para alinearse con protocolos similares a los que seguiría la DPNG en futuras plantaciones de restauración a gran escala.



Evaluar las interacciones entre plantas para abordar qué especies deben sembrarse juntas

La facilitación planta-planta -es decir, mayor abundancia o riqueza bajo la corona de especies nodrizas- es una interacción ecológica importante estudiada en varios ecosistemas áridos y semiáridos (Flores y Jurado, 2003). Para seguir desarrollando estrategias de restauración que puedan ampliarse fácilmente, esta interacción debe medirse en todo Baltra. Se deben comparar dos tipos de parcelas para estimar esta interacción, parcelas debajo y fuera de plantas nodrizas (Cavieres y Badano, 2009). Para las parcelas debajo, seleccionaremos individuos de las 15 especies prioritarias, que pueden actuar como especies nodrizas, al azar a través del paisaje, y registraremos todas las especies leñosas que crecen bajo su copa y sus abundancias. Las parcelas fuera deben evaluarse en forma pareada, repitiendo el proceso de registro de especies leñosas, pero en una parcela sin la presencia de una potencial planta nodriza alta. Se debe establecer la parcela fuera haciendo un círculo con el mismo radio que la parcela debajo y cerca de ella. Los métodos deben realizarse justo después del final de la temporada de lluvias, cuando la regeneración está en su punto más alto. Considerando el paisaje de Baltra, este procedimiento se debe repetir en áreas de mayor y menor riqueza, para comparar áreas menos impactadas versus sitios de restauración. En definitiva, este procedimiento puede informar qué especies tienen mayor potencial para ser utilizadas como especies nodrizas en etapas subsiguientes de restauración y, más específicamente, qué especies se pueden sembrar o plantar debajo de sus copas.



Incrementar la abundancia de las 15 especies prioritarias dentro del área de restauración propuesta utilizando las mejores tecnologías de restauración y estrategias de regeneración natural

Se han seleccionado quince especies clave para los experimentos de restauración. De estas, doce fueron seleccionadas en el primer plan de acción por su importante función ecológica (Jaramillo *et al.*, 2020; Jaramillo *et al.*, 2017). Tres especies adicionales (*Croton scouleri*, *Lycium boerhaviifolium*, y *Scutia spicata*) se agregaron a esta lista después de analizar datos de un estudio de especies leñosas y cactus en Seymour Norte en 2021. Estas tres especies forman parte de la biodiversidad de ambas islas y probablemente son importantes para la salud general del ecosistema. La lista completa de especies prioritarias se presenta en la **Tabla 2**.

Proponemos plantar especies prioritarias con las tecnologías más rentables de acuerdo con los objetivos de restauración informados por un modelo de referencia. Actualmente, estos objetivos se basan en las estimaciones de densidad de plantas obtenidas del estudio ecológico de Seymour Norte (**Fig. 3**). Sin embargo, es esencial actualizar estas recomendaciones cuando los resultados de los estudios ecológicos de Baltra y

la costa norte de Santa Cruz estén disponibles. Se plantea que las plantaciones se realicen en núcleos espaciados para favorecer la regeneración natural entre ellos. La literatura ha demostrado que el tamaño y la distancia entre los núcleos son variables y dependen de varios factores, como la alteración del sitio y las especies (Holl *et al.*, 2020). Sin embargo, la mayor parte de la literatura utiliza 50 m de distancia y núcleos de al menos 50 m² (Zahawi *et al.*, 2013; Corbin *et al.*, 2016). Otra estrategia para incrementar la abundancia de especies prioritarias es eliminar malezas alrededor de agrupaciones de vegetación leñosa nativa para promover la regeneración natural, ampliando la extensión de la vegetación. Esta es una estrategia importante para Baltra, que tiene una abundancia de pastos no nativos en el área central perturbada (Gibbs, 2013). De manera similar, realizar búsquedas de adultos y plántulas de *Opuntia echios* y *Scalesia crockeri* durante los años de El Niño podría ser beneficioso. Se ha informado que estas dos especies prioritarias tienen una mayor mortalidad y reclutamiento durante estos eventos (Tye y Aldáz, 1999). Si se encuentran reclutas de estas especies, se debe considerar la posibilidad de trasladarlos, plantarlos con tecnologías de restauración y estrategias de protección física.

Fig. 3. Grupo funcional y estimación de densidad de plantas leñosas en Seymour Norte. El grupo fijador de N corresponde a especies que fijan nitrógeno en el suelo. Diversidad corresponde a un grupo de especies con baja representatividad, pero importantes para la riqueza.

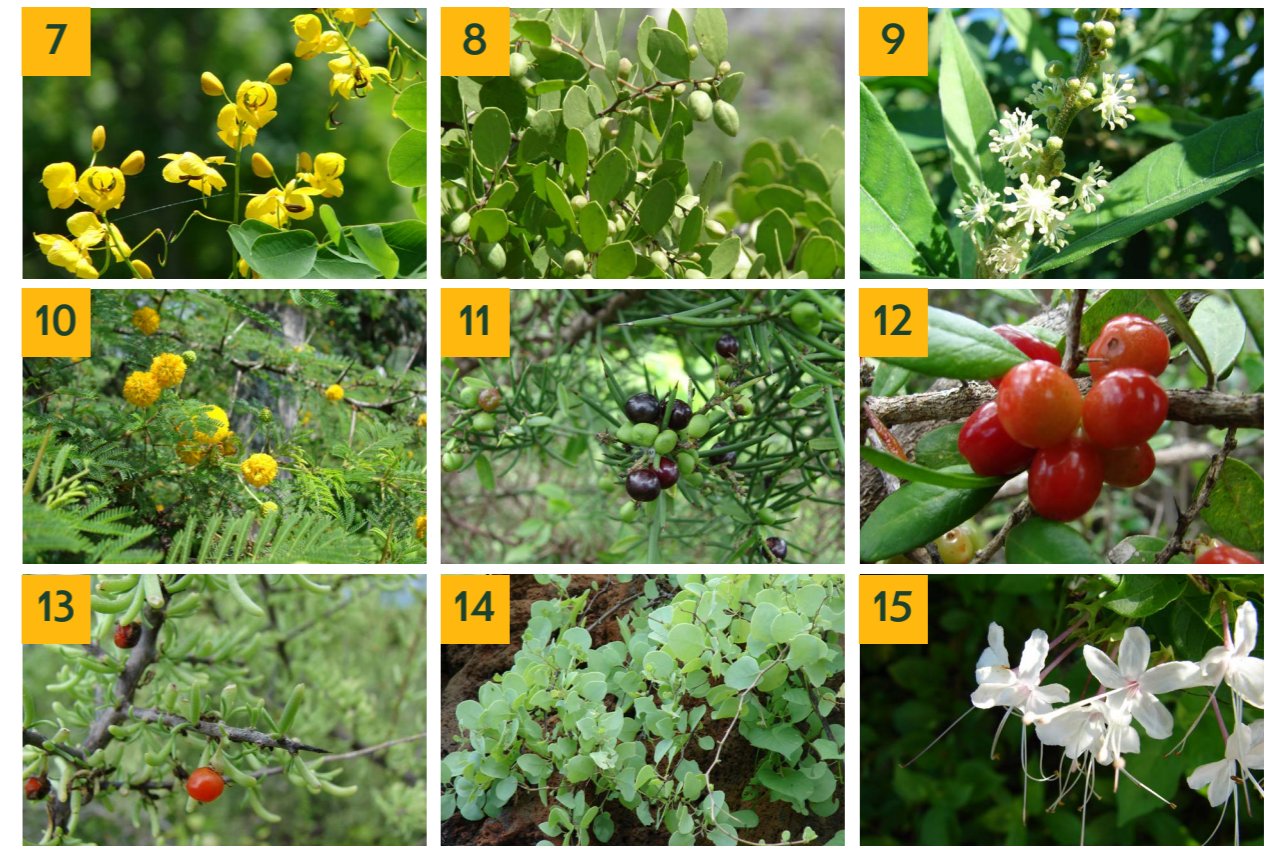
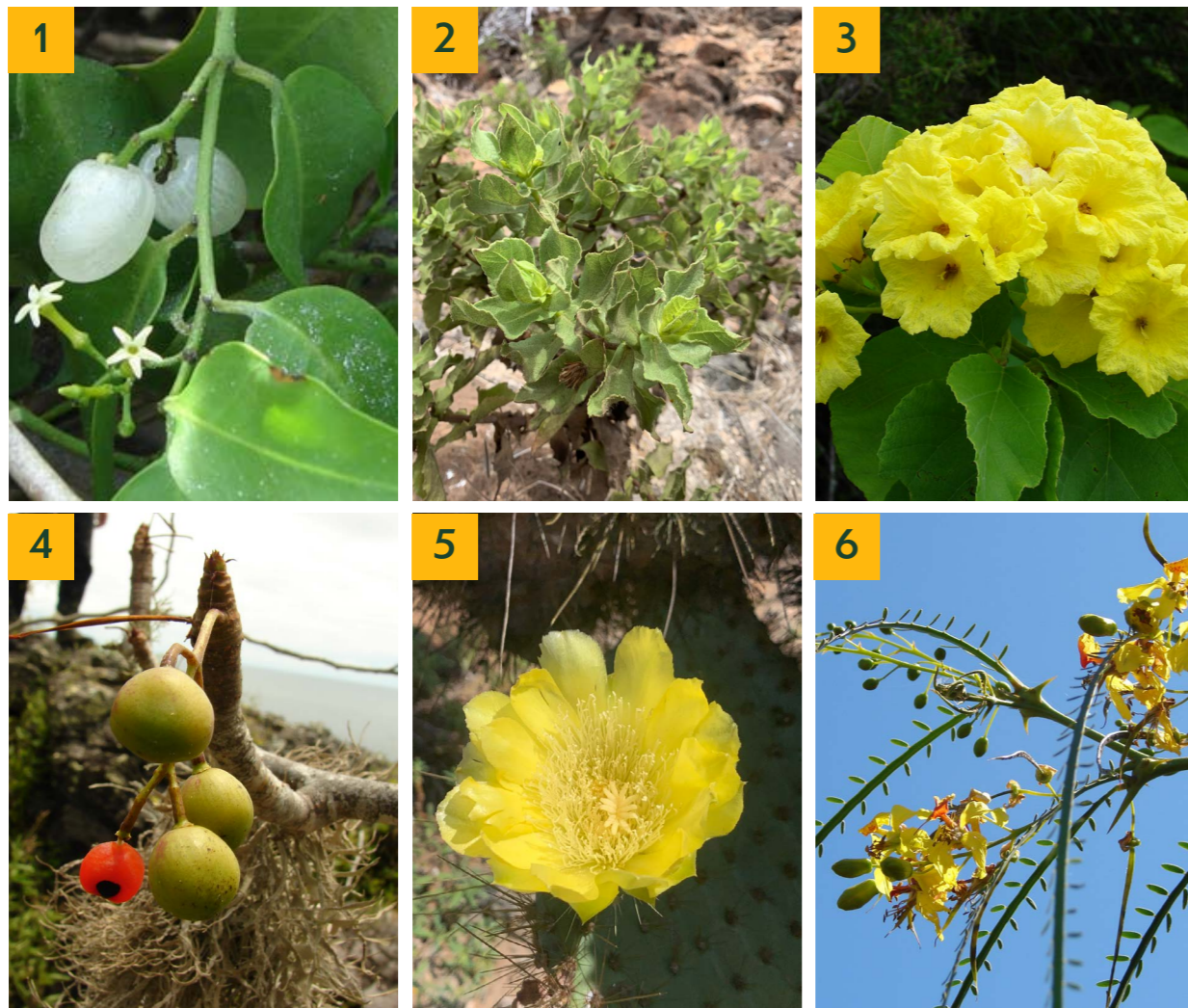


BALTRA – CRONOGRAMA

Objetivos	Pasos de restauración	2025	2026	2027	2028	2029
Restaurar Baltra	Desarrollar modelo de referencia					
	Delimitar un área de restauración conectando áreas de vegetación intactas.					
	Evaluar el uso de tecnologías de restauración para restaurar Baltra					
	Evaluar las interacciones planta-planta para abordar qué especies deben promoverse juntas					
	Incrementar la abundancia de 15 especies prioritarias dentro de los parches de restauración.					

Tabla 2. Especies prioritarias para la restauración ecológica de Baltra. Estado de especies endémicas de la UICN procedente del Libro Rojo de Plantas Endémicas del Ecuador (León- Yáñez et al., 2011).

Nombre científico	Nombre común	IUCN*	Hábito de crecimiento	Rol ecológico
1- <i>Vallesia glabra</i>	peralillo	LC	arbusto	Comida para pinzones. Tiene fruto carnososo. Planta hospedera de mariposas. Atrae polinizadores, principalmente <i>Xylocopa darwinii</i> .
2- <i>Scalesia crockeri</i>	lechoso	VU	arbusto	Planta hospedera de invertebrados nativos y endémicos. Atrae polinizadores como <i>Xylocopa darwinii</i> .
3- <i>Cordia lutea</i>	muyuyo	LC	árbol	Atrae polinizadores y los frutos son alimento para aves.
4- <i>Bursera graveolens</i>	palo santo	VU	árbol	Alimento para aves y estructura de anidación.
5- <i>Opuntia echios</i> var. <i>echios</i>	opuntia	EN	árbol	Alimento para iguanas terrestres y aves.
6- <i>Parkinsonia aculeata</i>	palo verde	LC	árbol	Fijador de nitrógeno, con vistosas flores que atraen a mariposas endémicas.



Nombre científico	Nombre común	IUCN*	Hábito de crecimiento	Rol ecológico
7- <i>Senna pistaciifolia</i> var. <i>picta</i>	senna	NE	arbusto	Fuente de alimento para aves e iguanas. Las flores amarillas atraen insectos y aves.
8- <i>Tricerna octogonum</i>	arrayancillo	-	árbol	Sus frutos carnosos color rojo brillante, con tres semillas, son fuente de alimento para aves.
9- <i>Croton scouleri</i>	chala	LC	arbusto	Especie dioica. Alimento para iguanas terrestres y aves; Hay cuatro especies de pinzones que se alimentan de las semillas.
10- <i>Vachellia macracantha</i>	acacia	-	árbol	Fijador de nitrógeno, de vistosas flores que atrae a mariposas endémicas.
11- <i>Scutia spicata</i>	espino	-	arbusto	Fuente de alimento para lagartijas, iguanas terrestres y aves.
12- <i>Castela galapageia</i>	amargo	LC	arbusto	Especie pionera en la zona árida, facilita la colonización de otras especies objetivo como <i>Scalesia</i> y <i>Opuntia</i> .
13- <i>Lycium minimum</i>	lycium	LC	arbusto	Atrae polinizadores y proporciona estabilidad y cobertura del suelo.
14- <i>Lycium boerhaviifolium</i>	hoja de plata	EN	arbusto	Especie dioica, de fruto carnososo de color naranja claro cuando está maduro y morado cuando se está secando. Estructura de anidación para aves.
15- <i>Volkameria mollis</i>	rodilla de caballo	LC	arbusto	Fijador de nitrógeno, de vistosas flores que atraen a las mariposas endémicas.

**Plantas endémicas según la UICN: VU=Vulnerable, EN=En peligro de extinción, LC=Preocupación menor

PLAZA SUR

PLAZA SUR—ANTECEDENTES

Plaza Sur, una isla de aproximadamente 13 hectáreas, está ubicada frente a la costa este de la Isla Santa Cruz. Por su paisaje, biodiversidad y cercanía a Puerto Ayora, es uno de los sitios más visitados del Parque Nacional Galápagos, con un promedio de 46.000 visitantes al año (DPNG, 2018). Sin embargo, la integridad ecológica del ecosistema está en riesgo. Existe un claro declive en la población de cactus (*Opuntia echios* var. *echios*), especie que tiene un importante valor estético y constituye la principal fuente de alimento para la iguana terrestre (*Conolophus subcristatus*) (Jordan et al., 2005; Lacour, 1984; Snell et al., 1994; 2008).

En 1957 en el extremo este de la isla había 60 cactus grandes, ahora solo sobreviven seis, lo que equivale a una pérdida del 90% (Sulloway et al., 2014; Sulloway y Noonan, 2015). Pérdidas similares son evidentes en el extremo oeste de la isla, mientras que la mortalidad de *Opuntia* es algo menor, alrededor del 55%. Para toda la isla, se estima que desde 1957 hasta 2014 ha

habido una mortalidad de alrededor del 60% (Sulloway y Noonan, 2015). Actualmente, existe una pequeña población de cactus subadultos que comenzaron a crecer a partir de 1957 y crecen en zonas con acantilados o entre vegetación espinosa como *Castela galapageia*. Si bien unos pocos subadultos han sobrevivido a la herbivoría de las iguanas terrestres, son pequeños, lo que parece ser una consecuencia de la continua depredación de nuevos cladodios por parte de las iguanas (Sulloway et al., 2014; Sulloway y Noonan, 2015).

El ecosistema de Plaza Sur, a diferencia de Baltra, no ha sufrido una perturbación humana importante. Sin embargo, desde 1983 una población de ratones domésticos introducidos (*Mus musculus*) se estableció e impactó la flora de la isla. Específicamente, se ha observado a los ratones comiendo raíces de *Opuntia echios* var. *echios*, lo que podría haber resultado en una mayor

inestabilidad estructural (Campbell et al., 2012; Jaramillo et al., 2017; Snell et al., 1994). Según Snell et al. (1994), entre 1983 y 1993, los ratones fueron responsables de la muerte de al menos dos tercios de la población de *O. echios* var. *echios*. En 2012, la erradicación de *Mus musculus* se realizó mediante esparcimiento aéreo de cebos de cereal con brodifacoum (Castaño et al., 2022).

Sin embargo, Sulloway y Noonan (2015) sostienen que estos ratones solo tuvieron un impacto menor en la población de cactus. Sugieren otros dos factores como las principales causas de la pérdida de *Opuntia* en las últimas cinco décadas. En primer lugar, los severos eventos de El Niño resultaron en la disminución de adultos dentro de la población debido a las lluvias extremas y los fuertes vientos. En segundo lugar, la desaparición del gavilán de Galápagos (*Buteo galapagoensis*) en Santa Cruz y la prohibición de la caza furtiva de iguanas dieron como resultado una densidad de población de iguanas terrestres mucho mayor de lo normal, ya que eran cazadas por los gavilanes y los pescadores locales. Dado que los cladodios, frutos, flores y juveniles de *Opuntia* son la principal fuente de alimento para las iguanas terrestres, el reclutamiento de nuevas *Opuntia* en Plaza Sur ha sido cercano a cero en las últimas cinco décadas (Sulloway y Noonan, 2015).

En 2014, iniciamos esfuerzos de restauración en la isla, plantando plántulas de *Opuntia* en tres sitios de estudio (Fig. 4). Dos están ubicados junto a la ruta turística, lo que permite a los visitantes observar el proceso de restauración ecológica. Entre 2014 y 2021, la población de *Opuntia* se duplicó con creces (Fig. 5). En 2022, un estudio

caracterizó las comunidades de plantas en Plaza Norte y Plaza Sur utilizando imágenes aéreas de alta resolución (Tapia y Gibbs, 2022). Se encontró que la presencia de iguanas terrestres en Plaza Sur redujo significativamente la cobertura de cactus y plantas leñosas, en comparación con Plaza Norte, donde las iguanas terrestres están ausentes. Estos hallazgos resaltan el importante papel de las iguanas terrestres como ingenieras del ecosistema, enfatizando la importancia de considerarlas en los esfuerzos de restauración de Plaza Sur.

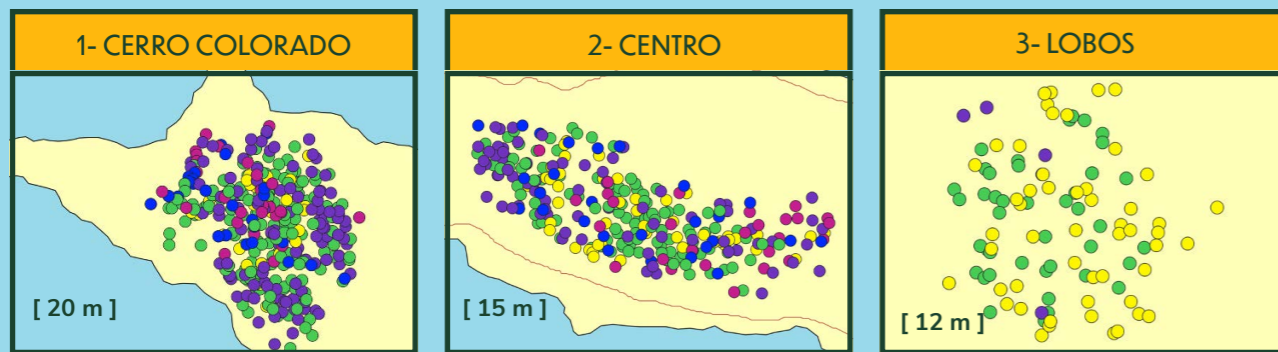
Otro factor inexplorado que podría influir en la disminución de *Opuntia* es el suelo. Si bien actualmente carecemos de información sobre las propiedades del suelo de Plaza Sur, existen algunos indicios de esto. La literatura ha demostrado que la orina y las heces de los animales a menudo pueden aumentar el aporte de nutrientes, alterar el pH del suelo y aumentar la salinidad del suelo en otros ecosistemas (Wait et al., 2005). Un problema potencial podría ser el caso de que en la parte este de Plaza Sur haya alta presencia de aves marinas, lobos marinos e iguanas, lo que puede tener un efecto en la química del suelo y el reclutamiento de *Opuntia*. El GV2050 actualmente está realizando investigaciones para confirmar esta hipótesis; puede ser aconsejable priorizar los esfuerzos de restauración en áreas de Plaza Sur donde el suelo es más propicio para el crecimiento de *Opuntia*. Además, el conocimiento adquirido al estudiar las propiedades del suelo en Plaza Sur puede mejorar nuestra comprensión sobre cómo la vida silvestre influye en la dinámica del suelo e impacta las comunidades de plantas en Galápagos.



SITIOS DE RESTAURACIÓN EN PLAZA SUR

Fig. 4. Sitios de estudio en la isla Plaza Sur. Acrónimos de tratamientos: BC, Biochar; CN, control; HY, hidrogel; WB, Waterboxx; WH, Waterboxx más Hidrogel. Las líneas rojas que cruzan la isla son el sendero turístico. Fuente de datos y elaboración de mapas: DPNG, FCD, Equipo GV2050.

BC CN HY WB WH



0 100 200 m

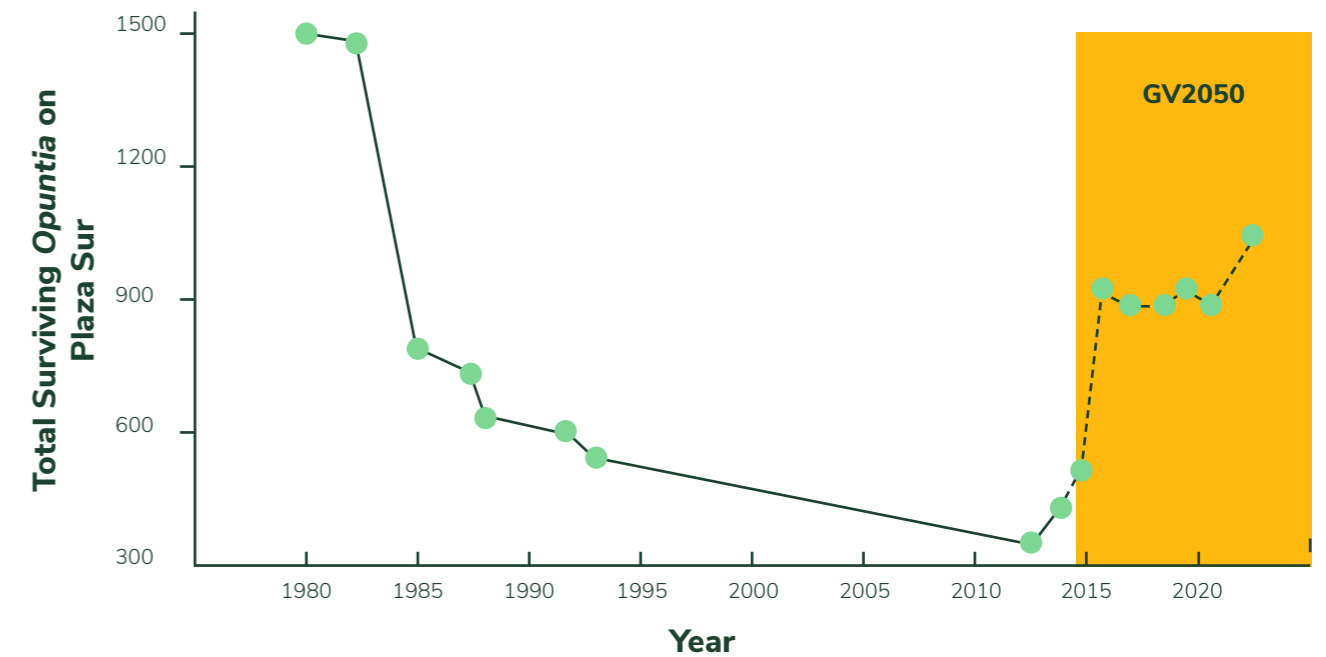


Fig. 5. Estimación del tamaño poblacional de *Opuntia echios* var. *echios* en Plaza Sur de 1980 a 2021 según varias fuentes. Las estimaciones de población para el período 1980 a 1993 provienen de Snell et al. (1994), para 2013 de Sulloway y Noonan (2015), y a partir de 2014 de los datos de monitoreo de GV2050. El GV2050 inició sus actividades de siembra en 2015 (se muestra en amarillo).

PLAZA SUR—OBJETIVOS

Contribuir a la recuperación de la población de la especie clave *Opuntia echios* var. *echios* a su tamaño poblacional histórico y distribución en Plaza Sur.

PLAZA SUR—ACCIONES DE RESTAURACIÓN

Establecimiento de plántulas de *Opuntia echios* var. *echios* en Plaza Sur

Los hallazgos de un estudio que comparó fotografías tomadas hace más de 50 años sugieren que la población de *Opuntia* en Plaza Sur alguna vez estuvo compuesta por ~2000 individuos (Frank Sulloway, com. pers., 2015). Antes de la intervención del GV2050, la población estaba formada por solo 426 individuos (Sulloway y Noonan, 2015). Este número ha aumentado ahora a 1234 *Opuntia* (Fig. 7). Para lograr el objetivo deseado de 2000 *Opuntia*, suponiendo una tasa de mortalidad del 10% para las *Opuntia* establecidas y una tasa de supervivencia del 63% para las nuevas plantaciones (Negoita et al., 2021), necesitaríamos plantar 1340 *Opuntia* adicionales. Vale la pena señalar que esta estimación no considera el reclutamiento natural, lo que puede reducir la



cantidad de *Opuntia* necesarias. Por tanto, es aconsejable estimar el reclutamiento para afinar el objetivo.

Para restaurar la población de *Opuntia* a sus niveles históricos, Sulloway (Frank Sulloway, com. pers. 2015) sugiere emular la tasa de reemplazo natural observada en la isla Santa Fe, con el objetivo de replicar la estructura de edad natural. Sin embargo, esforzarse por lograr una réplica exacta de la estructura de edades mediante la plantación de plántulas no es práctico porque requeriría décadas o incluso siglos de plantación continua. Por esta razón, proponemos un enfoque pragmático: plantar cinco cohortes de 250 a 300 *Opuntia*, con un intervalo de cinco años. Esta estrategia se alinea con nuestro objetivo de llegar a 2000 individuos para el año 2050, a través de cinco cohortes repatriados más regeneración natural, garantizando al mismo tiempo cierta diversidad de edades.

1967



2012



2022



Para aproximar el ecosistema lo más posible a su estado de sucesión antes de la perturbación humana, las plántulas deben plantarse en áreas que se conoce tenían cactus en el pasado. Las fotografías históricas son una referencia útil para determinar estas áreas. Se recomienda seguir plantando sólo en la parte central de la isla y mantener en observación las partes este y oeste. Existe una alta mortalidad de plántulas de *Opuntia* en la zona este que debería investigarse antes de reanudar la restauración activa. En cambio, la siembra en la zona oeste ha sido muy exitosa y no hay necesidad de continuar sembrando en esta zona.

El objetivo de recuperar la población de *Opuntia* es restaurar la función ecosistémica de Plaza Sur. Para esto, necesitamos considerar la interacción de *Opuntia* con otros componentes del ecosistema, como por ejemplo, la respuesta de la población de iguanas, mientras trabajamos para alcanzar el objetivo de 2000 *Opuntia*. Una población restaurada de *Opuntia* que pueda sustentar una población saludable de iguanas, reflejaría la recuperación de la integridad ecológica de la isla.

Evaluar la efectividad del uso de herramientas de restauración ecológica para restaurar la población de *Opuntia echios* var. *echios* en la Plaza Sur

GV2050 ha analizado la rentabilidad del uso de dos herramientas de restauración ecológica, Waterboxx y Waterboxx-hidrogel, así como de la plantación sin tecnología (Tapia *et al.*, 2021). Entre ellas, Waterboxx es la técnica más rentable para plántulas de *Opuntia* plantadas en Plaza Sur. Negoita *et al.* (2021) estimaron que la supervivencia a 2 años de los cactus *Opuntia* plantados con Waterboxx era aproximadamente el triple (64%) que con Waterboxx-hidrogel (13%) y sin tecnología (15%). El mismo estudio estimó que el costo por cada *Opuntia* sobreviviente sería de \$218 con Waterboxx, \$434 con Waterboxx-hidrogel y \$328 sin tecnología. No es necesario seguir probando esto, excepto para comparar nuevas técnicas y tecnologías. El hidrogel y el biochar se encuentran entre las tecnologías que no se han probado en Plaza Sur pero que han mostrado resultados prometedores en otros lugares.

Desarrollar un modelo de referencia para la restauración ecológica de Plaza Sur utilizando Plaza Norte y Santa Fe como ecosistemas de referencia

Plaza Norte, ubicada cerca de Plaza Sur y que comparte una geología similar, nunca ha tenido iguanas terrestres, dos factores que creemos que lo convierten en un ecosistema de referencia ideal para estimar la regeneración natural y la densidad de *Opuntia* en ausencia de iguanas terrestres. Se han utilizado estudios similares para evaluar el papel de la herbivoría en la regeneración de plantas (Negoita *et al.*, 2016). Tapia y Gibbs (2022) aportan información relevante sobre la vegetación de ambas islas. Si bien se han recopilado datos iniciales de imágenes aéreas, realizar trabajo de campo es esencial para establecer objetivos de restauración más sólidos. Estos estudios deben abarcar el registro de *Opuntia* y plantas leñosas, registros de variables ambientales, documentación de la presencia de animales y muestreo de suelo. Combinando estos enfoques, podemos mejorar nuestra comprensión de la dinámica de los ecosistemas y sentar una base sólida para los esfuerzos de restauración ecológica.



Para asegurar una mejor comparación, se recomienda incluir a Santa Fe como ecosistema de referencia adicional, ya que se utiliza en el programa de restauración para replicar la tasa de reemplazo de *Opuntia* (Suloway, com. pers.; Jaramillo *et al.*, 2017). Santa Fe ha sufrido una degradación debido a la presencia de cabras y la eliminación de un elemento crucial del ecosistema: las tortugas gigantes. Sin embargo, la población de cabras fue erradicada en 1971, dejando a las iguanas terrestres endémicas como los principales herbívoros de la isla hasta que se reintrodujeron las tortugas gigantes en 2020 (Tapia *et al.*, 2021). La presencia de poblaciones de cactus de *Opuntia* y de iguanas terrestres en Santa Fe la convierte en un valioso punto de referencia para Plaza Sur. Esta comparación puede ofrecer información valiosa sobre la dinámica entre estas dos especies y sus abundancias potenciales por hectárea. Esto, a su vez, puede mejorar nuestra comprensión de los esfuerzos de restauración en Plaza Sur.



Translocar plántulas/cladodios durante eventos de El Niño

El plan actual para Plaza Sur es plantar 250-300 *Opuntia* cada 5 años hasta alcanzar la población de 2000 *Opuntia echios* var. *echios* con una diversidad de clases de edad. Esta meta es similar a la frecuencia promedio de eventos de El Niño cada siete años. Durante estos eventos, el aumento de la regeneración natural se puede aprovechar para reubicar plántulas/cladodios y plantarlos utilizando estrategias de protección física y herramientas de restauración ecológica. En el caso de que se puedan reubicar suficientes plántulas/cladodios durante estos eventos, ya no será necesario cultivar plantas ex situ para alcanzar nuestra población objetivo.

Según Negoita et al. (2021), el costo estimado de cada *Opuntia* superviviente plantada utilizando la tecnología más rentable es de \$218. De este costo, se estima que \$61 (28%) se utilizan para gastos de producción de plántulas. Por lo tanto, la posible translocación de plántulas/cladodios de la misma isla podría ofrecer un enfoque más económico para repoblar *Opuntia* en Plaza Sur, al reducir los costos generales asociados con la producción de plántulas ex situ.



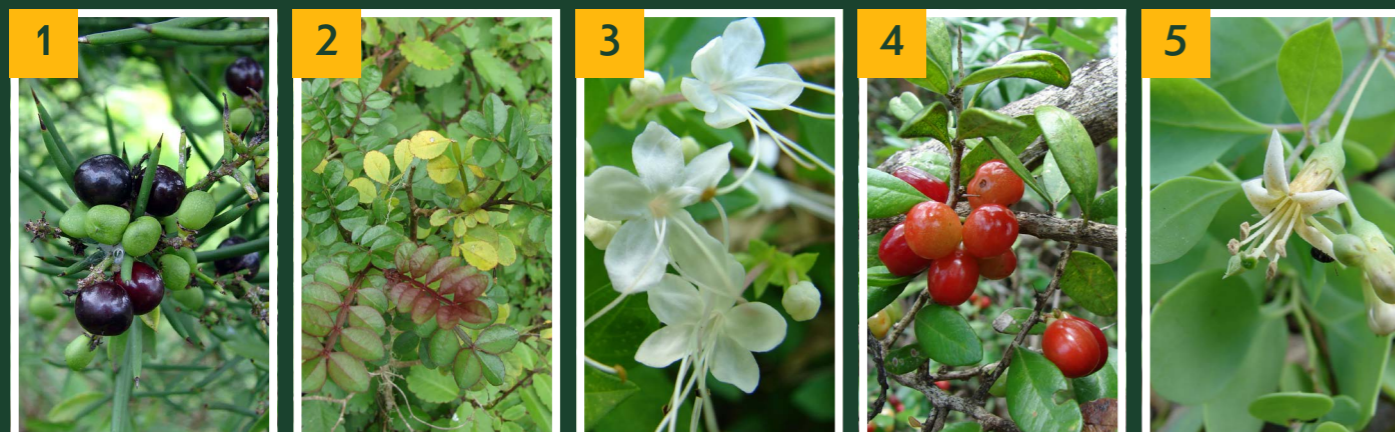
Establecer cercados de arbustos nativos espinosos para evaluar la efectividad del uso de "cercas vivas" para proteger las plántulas de *Opuntia*.

Hay muchos argumentos para probar cercas vivas en Plaza Sur (Castro, 2004). Actualmente, las cercas metálicas deben pintarse con pintura anticorrosiva para evitar un rápido deterioro, lo que aumenta los costos de restauración. Algunos de los sitios de restauración están ubicados junto al sendero turístico y reemplazar las cercas metálicas por cercas vivas podría mejorar la estética de la zona. Un primer paso sería recolectar semillas para la propagación de plantas ex situ. Se han sugerido cinco especies de arbustos espinosos nativos de Plaza Sur para su uso como cercas vivas (**Tabla 3**). Se necesitarán ensayos para determinar las especies más efectivas para proteger *Opuntia*. La selección de especies puede estar determinada por la disponibilidad de semillas. Además de la recolección directa de las plantas, las heces de iguana pueden proporcionar otra fuente de semillas. Actualmente se están recolectando heces para recopilar información sobre la dieta de las iguanas terrestres de Plaza Sur y obtener semillas para los esfuerzos de restauración. No está claro si las especies encontradas en las heces constituirían una barrera eficaz, ya que las iguanas podrían consumir toda la planta. Sin embargo, es posible que solo coman el fruto, evitando tallos y espinas, o que se alimenten del fruto caído. Una vez más, enfatizando la necesidad de realizar evaluaciones.

Se ha observado una pequeña población de cactus de *Opuntia* subadultos en acantilados o entre vegetación espinosa como *Castela galapageia*, pero se ha mantenido pequeña, probablemente debido a la herbivoría de iguanas (Suloway y Noonan, 2015). Hay un área de vegetación arbustiva en la parte central occidental de Plaza Sur, que puede brindar cierta protección natural a las *Opuntia* jóvenes. El censo de *Opuntia* de 2014 muestra algunos individuos jóvenes y subadultos dentro de este hábitat de arbustos (Jaramillo et al., 2017). La intensidad de la herbivoría podría ser demasiado severa para que las plantas logren un crecimiento suficiente y desarrollen resiliencia sin intervención externa. Un estudio en esta área podría involucrar un análisis detallado de la interacción entre herbívoros y cactus jóvenes y subadultos. Si la herbivoría es alta, entonces podemos iniciar una prueba usando estrategias de protección física. Si se encuentran pocas plántulas de *Opuntia*, esta podría ser un área de prueba para plantar cladodios, frutos o plántulas translocadas para probar la protección de los arbustos espinosos.

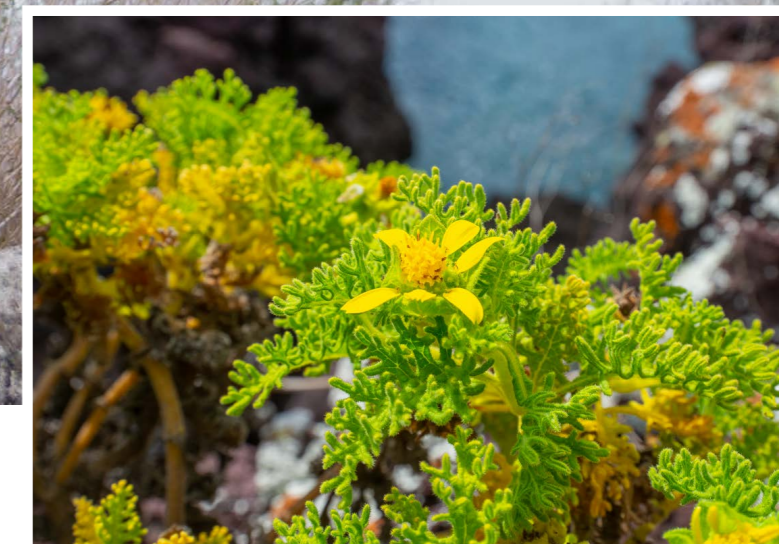
Tabla 3. Especies de plantas sugeridas para cercas vivas que se sabe que están presentes en Plaza Sur.

Especies de plantas	Familia	Forma de crecimiento; tipo de espinas
1- <i>Scutia spicata</i>	Rhamnaceae	arbusto; espinas grandes
2- <i>Zanthoxylum fagara</i>	Rutaceae	árbol; espinas como uñas de gato
3- <i>Volkameria mollis</i>	Lamiaceae	arbusto; pequeñas espinas
4- <i>Castela galapageia</i>	Simaroubaceae	arbusto; pequeñas espinas
5- <i>Lycium boerhaviifolium</i>	Solanaceae	arbusto; largas ramas arrastradas



PLAZA SUR—CRONOGRAMA

Objetivo	Pasos de restauración	2025	2026	2027	2028	2029
Restaurar la población de <i>Opuntia</i> en Plaza Sur a cifras históricas	Plantar 250-300 plántulas de <i>Opuntia</i>					
	Evaluar el uso de herramientas de restauración ecológica para restaurar <i>Opuntia</i>					
	Realizar el Estudio Ecológico de las Islas Plaza					
	Translocar plántulas-cladodios durante eventos de El Niño					
	Evaluar la eficiencia de las cercas vivas					



ESPAÑOLA

ESPAÑOLA—ANTECEDENTES

Española es una isla pequeña de 60 km² y relativamente plana con una altitud máxima de 220 m.s.n.m., lo que significa que la mayor parte de la isla es árida (Coronel, 2002; Snell et al., 1995). En los siglos XVII y XVIII, la isla fue el hogar de una gran población de tortugas gigantes de Española (*Chelonoidis hoodensis*), estimada en aproximadamente 7800 adultos (Tapia et al., 2021). Desafortunadamente, debido a la intensa cacería por parte de los balleneros y otros humanos, la población de tortugas se desplomó y, en 1964, sólo quedaban 14 individuos (Cayot, 2021). Todas las tortugas de Española fueron capturadas para un programa de cría en cautiverio que comenzó en 1965 (Márquez et al., 2019). El programa de reproducción tuvo un gran éxito y culminó con la repatriación exitosa de más de 2000 tortugas a la isla para 2021 (Cayot, 2021; Márquez et al., 2019; Tapia et al., 2021). La ausencia de tortugas gigantes probablemente afectó la vegetación de Española, ya que estos herbívoros desempeñan un papel vital en la dispersión de semillas y la estructuración de las comunidades de plantas (Gibbs et al., 2014).

Española es el único sitio de anidación del albatros ondulado (*Phoebastria irrorata*), en peligro crítico de extinción y la única especie de

albatros tropical (Anderson et al., 2003; Birdlife International, 2018). Con una envergadura de 2.5 m, estas grandes aves necesitan áreas abiertas y planas para poder despegar y aterrizar. Las tortugas gigantes ayudan a mantener estas áreas, generalmente denominadas "pistas", al alimentarse de la vegetación leñosa. Se necesitarán varias décadas para que la población de tortugas se recupere por completo y comience a rediseñar la vegetación. Hasta entonces, se necesitan esfuerzos de restauración para garantizar la supervivencia de los albatros, como el manejo de la vegetación e incentivar a las tortugas a regresar a áreas cercanas a las pistas (Tapia y Gibbs, 2023).

La vegetación en Española se vio aún más afectada por la introducción de cabras a finales del siglo XIX (Márquez et al., 2019). La Dirección del Parque Nacional Galápagos y la Fundación Charles Darwin erradicaron las cabras de la isla en 1978 (Coronel, 2002). Sin embargo, las poblaciones de dos especies de plantas endémicas no se recuperaron: *Opuntia megasperma* var. *orientalis* y *Lecocarpus lecocarpoides* (Atkinson et al., 2008). Ambas especies ahora clasificadas como "En Peligro" (EN) en la lista roja de plantas endémicas del Ecuador (Tye, 2011).

Opuntia megasperma es una especie de planta clave porque constituye una importante fuente de alimento para tortugas gigantes, iguanas terrestres, cucuves y pinzones. Las *Opuntia*, a su vez, dependen de las tortugas y las iguanas para la dispersión de sus semillas, y estudios han demostrado que el paso a través del sistema digestivo de estos herbívoros aumenta la germinación (Estupiñán y Mauchamp, 1995; Racine y Downhower, 1974). Esta especie tiene una tasa de crecimiento lenta de 0,5-7,5 cm por año (Coronel, 2002). Los factores que pueden impedir la recuperación natural de *Opuntia* en Española incluyen el ambiente árido, la lenta tasa de crecimiento de *Opuntia*, la herbivoría de plántulas por parte de tortugas y aves, y la alta mortalidad de adultos durante los eventos de El Niño (Cevallos y Jaramillo, 2024).

En 2017, el Programa GV2050 comenzó a implementar una nueva estrategia de manejo adaptativo a gran escala para restaurar *Opuntia*. La restauración activa comenzó en Las Tunas, un sitio ubicado a 1,5 km tierra adentro y a ~80 metros sobre el nivel del mar (Fig. 6). Este sitio es una de las tres zonas con mayor abundancia de *Opuntia* en Española, con 171 de los 521 individuos encontrados en toda la isla en el 2000 y 2001

(Coronel, 2002). La alta presencia de adultos en este sitio, sugiere que históricamente tuvo una gran población de *Opuntia*.

Lecocarpus lecocarpoides es otra especie endémica de la Isla Española y en cuatro de los islotes circundantes en la Bahía Gardner (Gardner, Osborn, Oeste y Xarifa). Pertenece a un género endémico de Galápagos, lo que la hace importante para estudiar la evolución y la especiación. Nuestras observaciones de campo sugieren que podría ser una importante planta hospedera de polillas, ya que hemos registrado capullos de seda, pupas, y larvas alimentándose de los frutos. Durante casi una década se pensó que la población de Punta Manzanillo, la única población conocida en la isla principal, estaba extinta. A pesar de varias búsquedas, no se encontraron registros de esta especie entre 2012 y 2020 (Atkinson, 2007; Tapia et al., 2019). Afortunadamente, una expedición en 2020 encontró ~48 plantas pequeñas en Punta Manzanillo (Calle-Loor y Jaramillo, 2024). Inmediatamente después de descubrir a estos individuos, el GV2050 inició los esfuerzos de recuperación. La población fluctúa, en gran parte debido al corto ciclo de vida de esta planta (Fig. 7 y 8).

SITIOS DE RESTAURACIÓN EN ESPAÑOLA

Fig. 6. Sitios de estudio GV2050 en Isla Española.
Abreviaturas: Germen, experimento de germinación; Rep, plantas repatriadas; Via, experimento de viabilidad; Excl, exclusión, Clad, experimento con cladodios y plántulas; Semillas, experimentos con semillas; Col, colector de agua de lluvia. Fuente de datos y elaboración de mapas: DPNG, FCD, Equipo GV2050

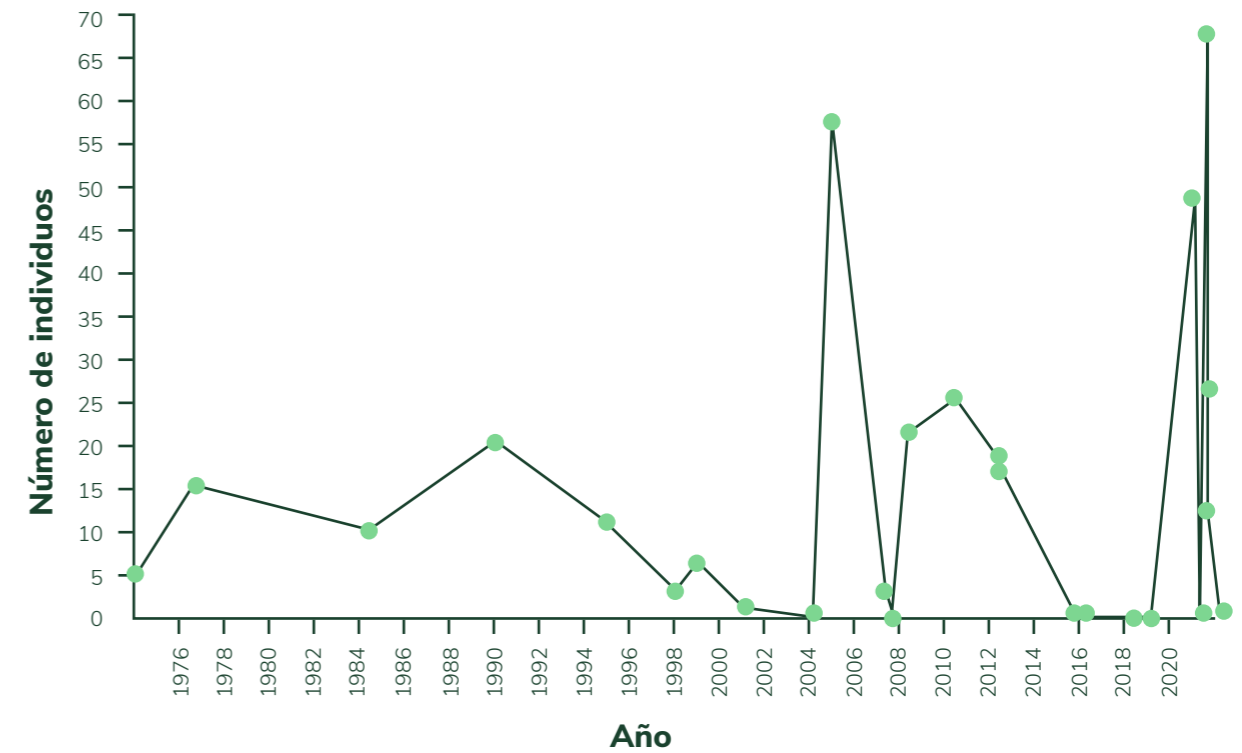
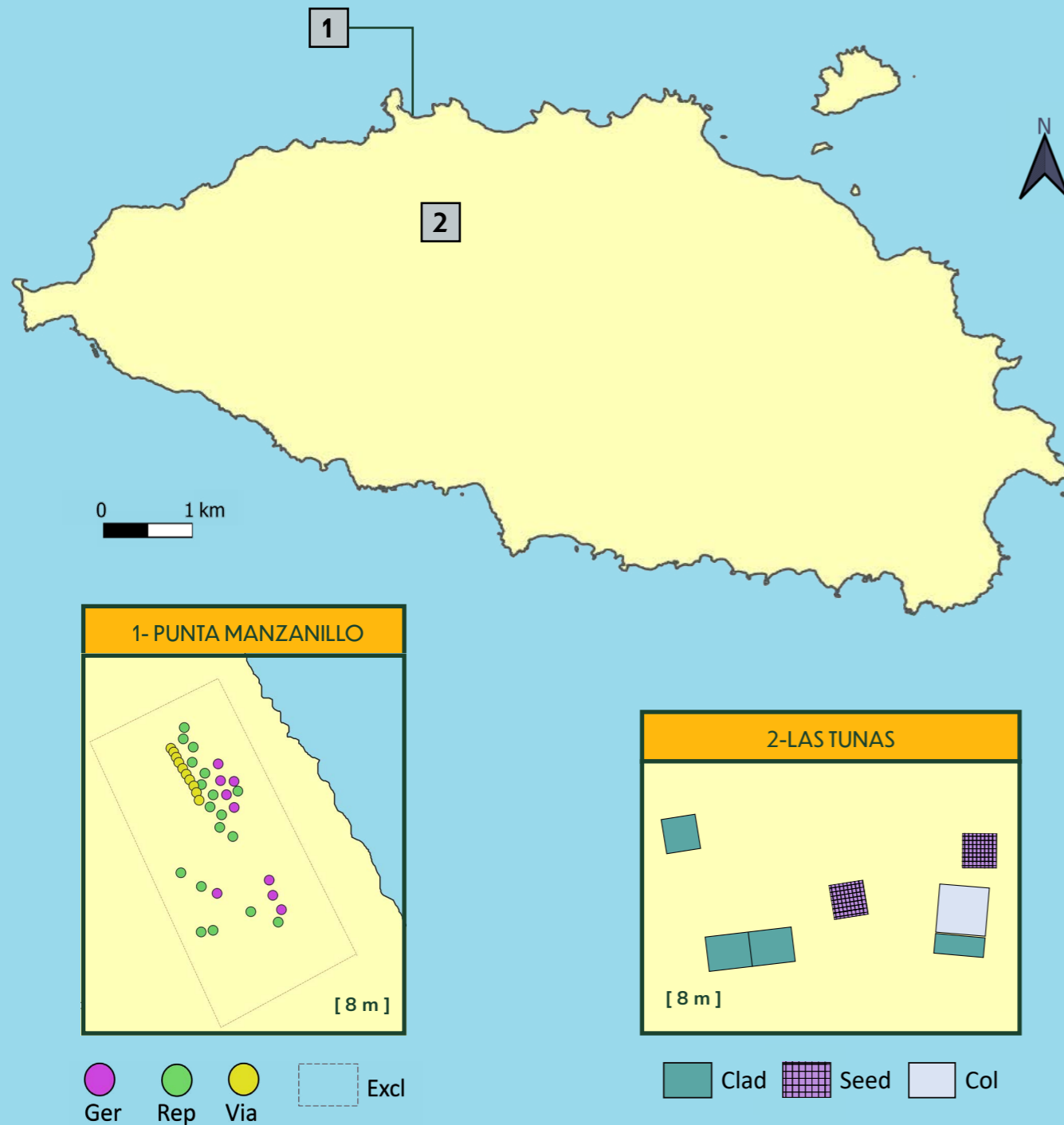


Fig. 7. Variación poblacional de *Lecocarpus lecocarpoides* en Punta Manzanillo de 1974 a 2021 según varias fuentes. Los datos sobre el número de individuos presentes en Punta Manzanillo se obtuvieron de Sønderberg Brok y Adersen (2007), datos del Herbario CDS y observaciones de campo de GV2050. Elaboración del gráfico: GV2050

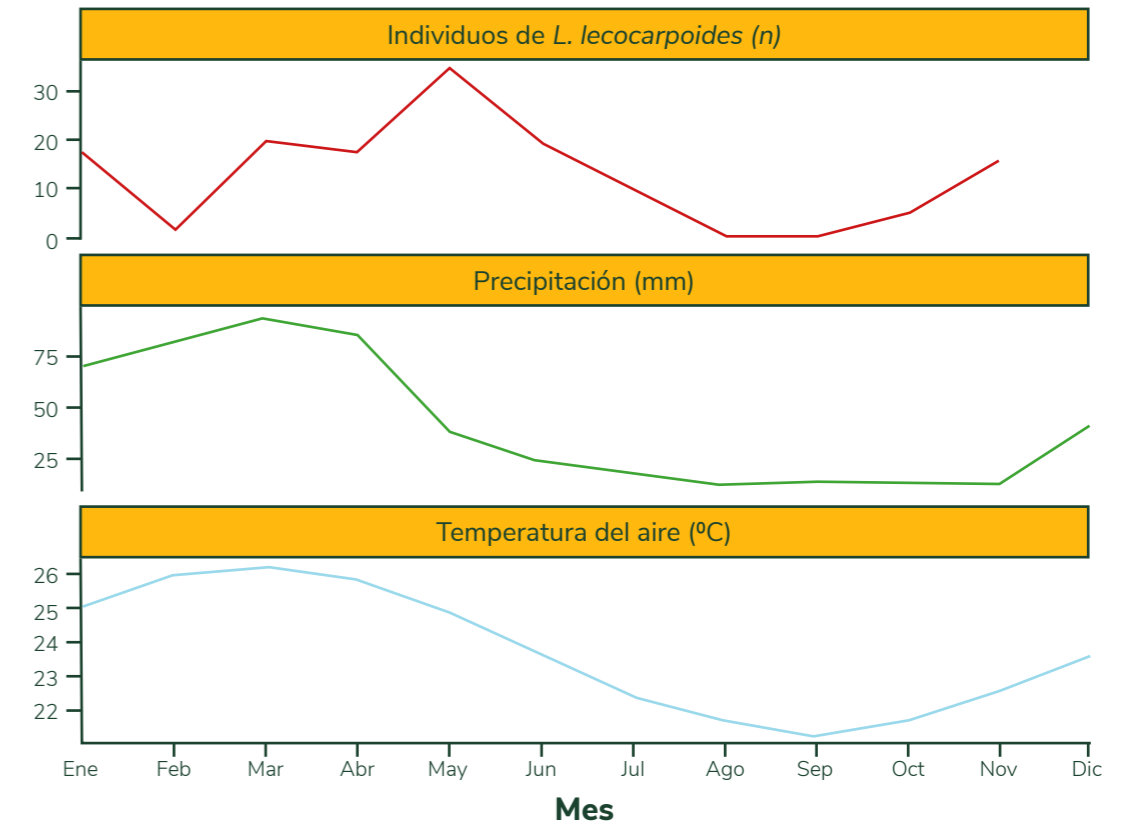


Fig. 8. Número promedio de individuos de *L. lecocarpoides* registrados, precipitación y temperatura del aire por mes en Punta Manzanillo (1974-2021). La temperatura media y la precipitación se extrajeron de los datos climáticos históricos de Worldclim (1970-2000) con una resolución de 2,5 m. Los datos sobre el número de individuos presentes en Punta Manzanillo se obtuvieron de Sønderberg Brok y Adersen (2007), datos del Herbario CDS y observaciones de campo de GV2050. Elaboración del gráfico: GV2050

El árbol *Erythrina velutina* destaca por su presencia en islas remotas del archipiélago de Galápagos, como lo demuestra la investigación realizada por Grant et al., en 1991. Aunque no es endémica, esta especie juega un papel crítico en el ecosistema como leguminosa fijadora de nitrógeno, contribuyendo significativamente a la salud y fertilidad del suelo (Silva et al., 2020). Cayot (2021) destaca su limitada presencia en la Isla Española, registrándose sólo tres árboles. Considerando su evidencia en otras islas remotas y los experimentos de flotación de semillas realizados por Grant et al. (1991), se demostró la capacidad de *Erythrina velutina* para dispersarse a largas distancias y establecerse en nuevos entornos. La germinación de sus semillas después de eventos importantes como El Niño subraya su potencial de supervivencia y adaptabilidad.

ESPAÑOLA—OBJETIVOS

1. Contribuir a la restauración ecológica de la Isla Española a través de la recuperación de la especie clave *Opuntia megasperma* var. *orientalis*.
2. Recuperar la única población de la especie en peligro de extinción *Lecocarpus lecocarpoides* en Española.
3. Evaluar el estado de los individuos de *Erythrina velutina* en Española para desarrollar estrategias de conservación efectivas

ESPAÑOLA—ACCIONES DE RESTAURACIÓN

Determinar estrategias de protección apropiadas para *Opuntia* que no afecten la vida silvestre nativa

GV2050 encontró que proteger cada planta con una cerca individual y plantar entre arbustos no son estrategias efectivas para proteger plántulas y cladodios de *Opuntia*. Las tortugas pueden aplastar las cercas metálicas individuales y abrirse paso entre los arbustos, y las aves logran extraer plántulas durante su vuelo. El uso de cercados metálicos más grandes y robustos para proteger grupos de plántulas plantadas en parcelas de restauración ha tenido más éxito en la prevención de la herbivoría de las tortugas. Estas cercas deben sellarse con un "techo" elaborado de material de cerca o malla de sombra para evitar la herbivoría de las aves. Actualmente, las parcelas cercadas han sido plantadas con una alta densidad de *Opuntia* dentro de cada parcela. Estos individuos

serán reubicados a otras áreas una vez alcancen un tamaño que pueda soportar la herbivoría. Este enfoque reduce la necesidad de construir múltiples estructuras costosas.



Evaluar la eficiencia del uso de diferentes estrategias de restauración para incrementar el éxito de germinación de semillas de *Opuntia*

GV2050 ha identificado varios tratamientos con potencial para aumentar la germinación. Estos incluyen el uso de semillas de diferentes fuentes (heces de tortuga, frutos frescos, y frutos descompuestos). Se encontró que las semillas de *Opuntia* recolectadas de heces de tortugas gigantes tienen tasas de germinación más altas que las recolectadas directamente de frutos (Estupiñán y Mauchamp, 1995). Las observaciones de campo sugieren que la descomposición de los frutos de *Opuntia* en contenedores durante varios meses antes de sembrar las semillas también podría aumentar la germinación. Otra estrategia es combinar estas diferentes fuentes de semillas con herramientas de restauración ecológica que se puedan aplicar al suelo al momento de la siembra (hidrogel y biochar).

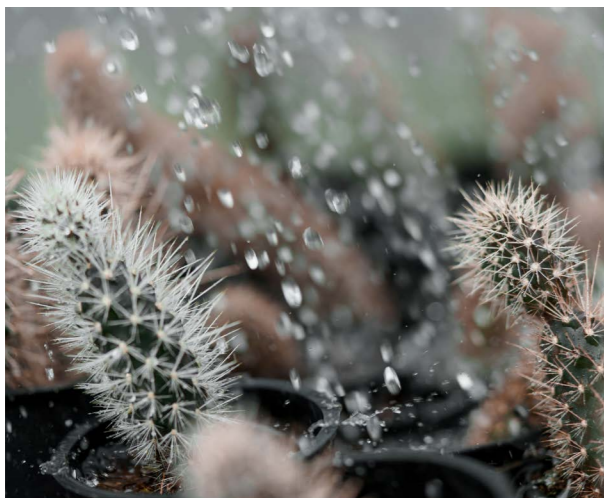


Evaluar la eficiencia del uso de diferentes tecnologías de restauración para aumentar la supervivencia de plántulas y cladodios de *Opuntia*

Los cactus de *Opuntia* sembrados con Groasis Waterboxx y protegidos por cercas, muestran una supervivencia promedio mucho mayor que la de los cactus sembrados como controles, 95% en comparación con tan solo 6% (Cevallos y Jaramillo, 2024). Sin embargo, el efecto que se observó en la interacción entre algunas especies y las cajas, nos sugiere necesario ajustar la metodología antes de continuar su uso. Una tecnología alternativa que ya se está probando en las parcelas de la isla, junto con el hidrogel y los controles, es el biochar. Será necesario continuar el seguimiento de estas parcelas durante los próximos años para comprender el efecto de los tratamientos sobre la supervivencia de *Opuntia*.

Utilizar una combinación de plántulas y cladodios para mantener la diversidad genética

Las *Opuntia* se pueden plantar tanto a partir de cladodios recolectados en el campo como de plántulas cultivadas ex situ o in situ. Si bien, la colecta de cladodios es rápida y económica, el uso de plántulas es necesario para mantener la diversidad genética de la población de *Opuntia*. Se observó una supervivencia a dos años del 54% (39 de 72) para cladodios plantados sin tecnología ni riego dentro de una parcela cercada (Cevallos et al., 2023; Cevallos y Jaramillo, 2024).



Promover la regeneración natural de *O. megasperma*, especialmente durante eventos de El Niño con mayores precipitaciones, para complementar los esfuerzos de regeneración asistida

Realizar búsquedas de plántulas de *Opuntia* o cladodios enraizados durante la temporada de lluvia y eventos de El Niño, cuando es más probable una mayor presencia de estos. Estas plántulas y cladodios pueden protegerse en el lugar o trasladarse a nuevas localidades con baja densidad de *Opuntia* utilizando las estrategias de protección física mencionadas anteriormente. Se debe considerar evaluar diferentes estrategias de control de malezas para prevenir la mortalidad de las plántulas de *Opuntia*, especialmente durante períodos de lluvias intensas que estimulan el crecimiento de la vegetación. El informe de Grant y Grant (1989) sugiere que el control de malezas puede ser un factor importante en la supervivencia de las plantas jóvenes. Encontramos necesario eliminar malezas dentro de las parcelas de restauración en Las Tunas para poder monitorearlas. Como se explica en la p. 70 existen varias técnicas para la eliminación de malezas que pueden aumentar el reclutamiento.

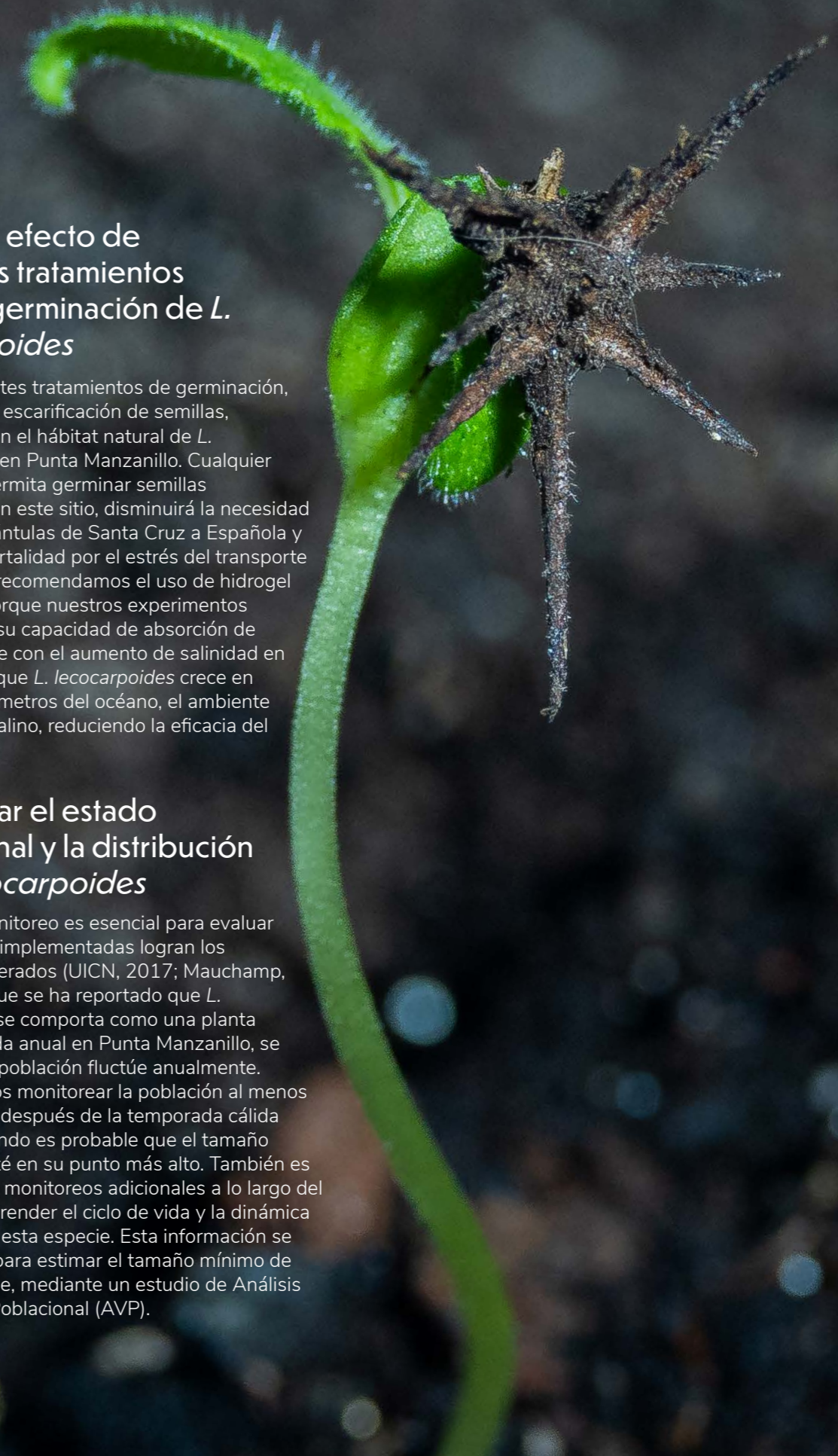


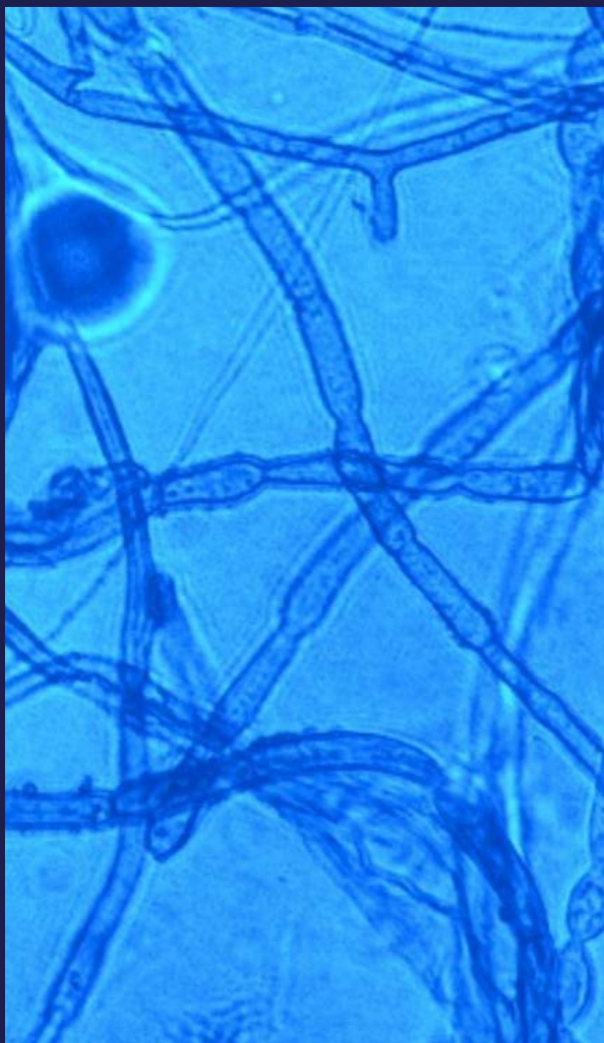
Evaluar el efecto de diferentes tratamientos sobre la germinación de *L. lecocarpoides*

Evaluar diferentes tratamientos de germinación, como remojo y escarificación de semillas, directamente en el hábitat natural de *L. lecocarpoides*, en Punta Manzanillo. Cualquier método que permita germinar semillas directamente en este sitio, disminuirá la necesidad de repatriar plántulas de Santa Cruz a Española y reducirá su mortalidad por el estrés del transporte y siembra. No recomendamos el uso de hidrogel en este sitio porque nuestros experimentos muestran que su capacidad de absorción de agua disminuye con el aumento de salinidad en el agua. Dado que *L. lecocarpoides* crece en arena a pocos metros del océano, el ambiente es altamente salino, reduciendo la eficacia del hidrogel.

Monitorear el estado poblacional y la distribución de *L. lecocarpoides*

Un plan de monitoreo es esencial para evaluar si las acciones implementadas logran los resultados esperados (UICN, 2017; Mauchamp, 2007). Dado que se ha reportado que *L. lecocarpoides* se comporta como una planta con ciclo de vida anual en Punta Manzanillo, se espera que su población fluctúe anualmente. Recomendamos monitorear la población al menos una vez al año después de la temporada cálida y húmeda, cuando es probable que el tamaño poblacional esté en su punto más alto. También es valioso realizar monitoreos adicionales a lo largo del año para comprender el ciclo de vida y la dinámica poblacional de esta especie. Esta información se puede utilizar para estimar el tamaño mínimo de población viable, mediante un estudio de Análisis de Viabilidad Poblacional (AVP).





Incrementar la población de *L. lecocarpoides* en Española mediante restauración activa y promoviendo la regeneración natural.

Actualmente realizamos monitoreos periódicos de la población de *L. lecocarpoides* en Punta Manzanillo. En caso de detectar nuevos individuos, se considerará la posibilidad de implementar herramientas de restauración ecológica y riego para favorecer el crecimiento y la supervivencia. Además, se eliminarán todas las plantas introducidas que puedan suponer una fuente de competencia.

Para promover la regeneración natural y reducir el uso humano del área, se instaló un cercado alrededor de la población de *L. lecocarpoides* en septiembre de 2021. Además, planeamos complementar la población natural con plántulas cultivadas ex situ siguiendo un diseño experimental. La germinación de las semillas de esta especie es particularmente difícil, debido a la dura cobertura exterior que tienen las semillas. Sin embargo, la germinación se puede aumentar considerablemente mediante el uso de técnicas de escarificación de semillas descritas en Pulido (2020). Las plántulas resultantes se pueden plantar en la misma zona o en un segundo lugar con condiciones de hábitat similares.



Evaluar el papel de los hongos del suelo en la germinación de *L. lecocarpoides*

El GV2050 ha observado que algunas de las semillas de *L. lecocarpoides* que germinaron en el laboratorio estaban infectadas por hongos. Esto sugiere que los hongos podrían facilitar la germinación al descomponer la capa externa de la semilla. Esta hipótesis se puede probar realizando experimentos de germinación inoculando semillas de *L. lecocarpoides* con hongos de Punta Manzanillo siguiendo estudios previos (Delgado-Sánchez *et al.*, 2013). En 2021, se aislaron siete taxa de hongos del suelo a partir de muestras recolectadas de la rizosfera de plantas naturales de *L. lecocarpoides*. De estos, cinco fueron identificados a nivel de género y dos permanecen sin identificar (Enríquez-Moncayo *et al.*, 2021). La caracterización molecular de los siete taxa permitiría la identificación a nivel de especie y su posible función ecológica.



Identificar amenazas a la población de *L. lecocarpoides* en Punta Manzanillo a través del estudio de su hábitat e interacciones biológicas

Se sabe que las plantas de Galápagos enfrentan diversas amenazas, como la introducción de especies invasoras, la degradación del hábitat debido a actividades humanas, el cambio climático, la herbivoría por especies introducidas, y la presencia de plagas y enfermedades. Sin embargo, en muchos casos no es factible ni rentable abordar todas estas amenazas de manera simultánea (UICN, 2017). Por ello, es fundamental estudiar el

hábitat y las interacciones biológicas esenciales para que *L. lecocarpoides* complete su ciclo de vida. Herramientas útiles para obtener información valiosa son los inventarios de biodiversidad, los medidores de temperatura y precipitación, y las cámaras trampa. Con esta información, se puede construir un 'árbol de problemas' para analizar y organizar la información sobre amenazas (UICN, 2017).

Evaluar el estado poblacional de los individuos de *Erythrina velutina* en Española para desarrollar estrategias de conservación efectivas

Se proponen los siguientes pasos para ampliar nuestro conocimiento sobre los pocos individuos de *Erythrina velutina* en Española y desarrollar estrategias de conservación:

- **Evaluar el número, fenología y estado de salud de árboles de *Erythrina* en El Caco**

Para evaluar el potencial de una mayor población de árboles de *Erythrina* en Española, se debe realizar una excursión de campo para registrar el número y la altura de los árboles, mientras que al mismo tiempo se deben buscar plántulas regenerando en el área para identificar nuevos individuos. Para todas las plantas se registrará el estado fenológico (vegetativo, de floración, de fructificación). Cada planta identificada debe ser examinada para detectar plagas de insectos que podrían estar deteriorando su estado de salud.

- **Búsqueda de datos históricos y nuevas colecciones**

Para establecer cuánto tiempo ha estado presente la especie en Española es necesaria una revisión de la literatura. Para ello, se examinarán artículos, informes y otros documentos en busca de información potencial. Además, durante las excursiones de campo se debe recolectar nuevo material vegetal para incrementar los registros en el Herbario CDS.

- **Propagación in situ**

Para aumentar el tamaño de la población, se deben evaluar las técnicas de propagación. Como primera prueba, se deben cortar brotes y colocarlos en suelo para evaluar si tiene potencial para propagarse vegetativamente.



Único individuo de *Erythrina velutina* que se conoce en el sector El Caco

ESPAÑOLA—CRONOGRAMA

Objetivo	Pasos de restauración	2025	2026	2027	2028	2029
1- Recuperar <i>Opuntia megasperma</i>	Determinar estrategias de protección física apropiadas para <i>Opuntia</i> .					
	Evaluar la eficiencia del uso de estrategias de restauración para incrementar la germinación de <i>Opuntia</i> .					
	Evaluar la eficiencia del uso de tecnologías de restauración para aumentar la supervivencia de plántulas y cladodios de <i>Opuntia</i> .					
	Plantar una combinación de plántulas y cladodios para mantener la diversidad genética.					
	Promover la regeneración natural de <i>O. megasperma</i> .					
2- Recuperar <i>Lecocarpus lecocarpoides</i>	Evaluar el efecto de tratamientos pregerminativos sobre la germinación de <i>L. lecocarpoides</i> .					
	Monitorear el estado poblacional y la distribución de <i>L. lecocarpoides</i> .					
	Incrementar la población de <i>L. lecocarpoides</i> en Española promoviendo la regeneración natural y complementando la población natural.					
	Evaluar el papel de los hongos del suelo en la germinación de <i>L. lecocarpoides</i> .					
	Identificar amenazas a la población de <i>L. lecocarpoides</i> .					
3- Evaluar <i>Erythrina velutina</i>	Evaluar el número, fenología y estado de salud de árboles de <i>Erythrina</i> en El Caco					
	Búsqueda de datos históricos y nuevas colecciones.					
	Propagación in situ					



ISABELA NORTE

ISABELA NORTE—ANTECEDENTES

Isabela es la isla más grande del archipiélago y su masa terrestre excede el área combinada de todas las demás islas (Snell *et al.*, 1996). Se encuentra entre las más jóvenes, formada por seis volcanes en escudo que se fusionaron a través de sus flujos de lava (Geist *et al.*, 2005). Entre 1950 y 2000, se produjeron diez erupciones en cinco de estos volcanes (Naumann y Geist, 2000). Con 1707 metros, el Volcán Wolf es el punto más alto del Archipiélago de Galápagos (Geist *et al.*, 2005). El istmo Perry, un istmo de lava que se extiende a lo largo de 10 km, divide Isabela en sus regiones norte y sur. La actividad humana se concentra principalmente en la parte sur de la isla. Este Plan de Restauración se enfoca en la región deshabitada al norte de Isabela.

Isabela alberga una mayor población de tortugas gigantes que todas las demás islas juntas, y alberga especies únicas en cada uno de sus volcanes (Beheregaray *et al.*, 2004). Las cabras salvajes invasoras, junto con algunos burros, representaban una amenaza sustancial para la vegetación autóctona. Esta amenaza se abordó mediante un importante esfuerzo de conservación que culminó en 2005 con la erradicación exitosa de más de 60.000 cabras de Isabela durante una iniciativa de seis años conocida como Proyecto Isabela (Campbell *et al.*, 2013; Carrión *et al.*, 2011). Aunque las cabras fueron erradicadas en 2005, aún no se ha observado la recuperación de algunas especies de plantas endémicas.

Galvezia leucantha es una de las especies que se presume se vio afectada por la intensa herbivoría de las cabras en el pasado. Esta especie está clasificada como en peligro de extinción en la lista roja de especies endémicas del Ecuador (León-Yáñez *et al.* 2011). *Galvezia leucantha* tiene tres subespecies reconocidas: subsp. *leucantha* se distribuyó históricamente en Isabela y

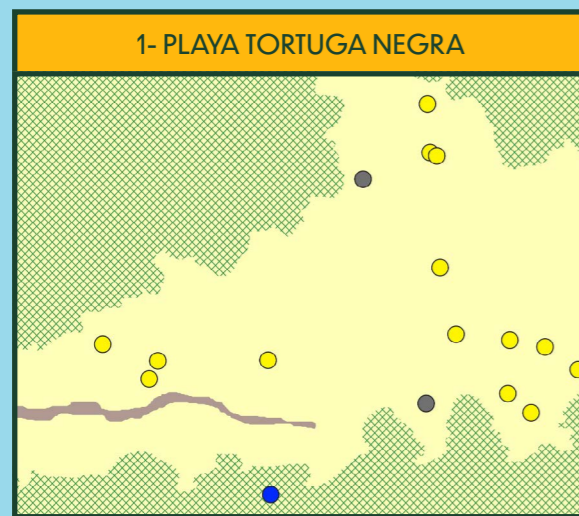
Fernandina, subsp. *pubescens* en Rábida, y subsp. *porphyrantha* en Santiago (Tye y Jäger, 2000; Guzmán *et al.*, 2017). En 2007, una expedición reveló que solo quedaban seis individuos en Playa Tortuga Negra, uno de los pocos lugares en los que se había registrado *Galvezia leucantha* en Isabela Norte (Jaramillo y Tye, 2018). Poco después, el GV2050 inició esfuerzos de recuperación en Playa Tortuga Negra. Galápagos Conservancy y la Dirección del Parque Nacional Galápagos realizaron búsquedas de *G. leucantha* subsp. *leucantha* en 2019 y 2020 en Fernandina, Volcán Wolf y Volcán Darwin sin éxito (Tapia, 2019; 2020; Tapia *et al.*, 2019) y ahora se considera que la subespecie está presente solo en Playa Tortuga Negra (Fig. 9).

La última población conocida de *G. leucantha* subsp. *leucantha* está ubicada en un campo de lava cerca de Playa Tortuga Negra. Este sitio está a 50-100 m de la costa y está rodeado por una zona de bosque de manglar, que es el hogar del pinzón de manglar (*Camarhynchus heliobates*), en peligro crítico de extinción. GV2050 ha estado trabajando en este sitio desde 2017 (Fig. 10). Después de varios esfuerzos de germinación ex situ y repatriación, la población aumentó de 5 individuos en 2017 a 20 individuos adultos en 2021. Además de estos, se encontraron ocho plántulas durante el monitoreo poblacional en agosto de 2021, indicando el inicio de la regeneración natural. Sin embargo, la viabilidad a largo plazo de esta población única enfrenta serias amenazas debido a su pequeño tamaño y los riesgos que plantean las enfermedades y plagas de insectos herbívoros. Por lo tanto, es importante intensificar los esfuerzos de conservación en Playa Tortuga Negra. A menos que se localice y proteja otra población, es imperativo considerar establecer una segunda población, ya sea en lugares con presencia histórica o en nuevos sitios que ofrezcan condiciones ambientales favorables para su desarrollo.

SITIOS DE RESTAURACIÓN EN ISABELA NORTE

Fig. 9. Sitios de estudio en la Isla Isabela. Siglas de tratamientos: CN, Control; HY, hidrogel; WH, Waterboxx más Hidrogel. El área gris en el recuadro indica una grieta. El área sombreada en verde corresponde a la vegetación circundante, principalmente manglares. Fuente de datos y elaboración de mapas: DPNG, FCD, Equipo GV2050

● CN ● HY ● WH



0 10 20 km

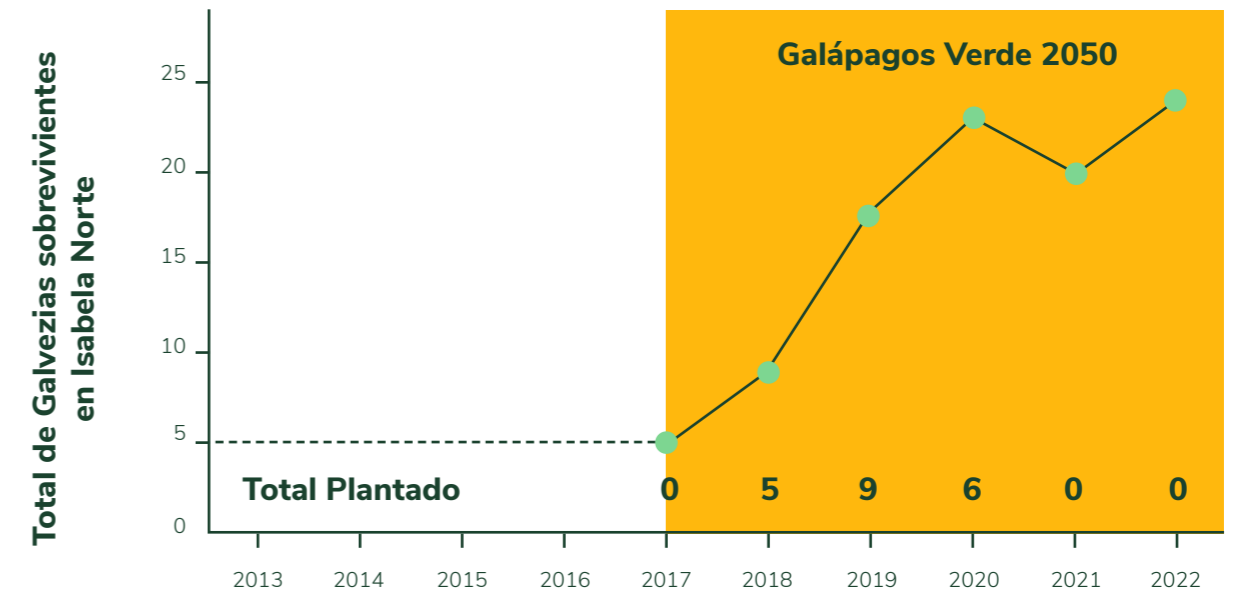
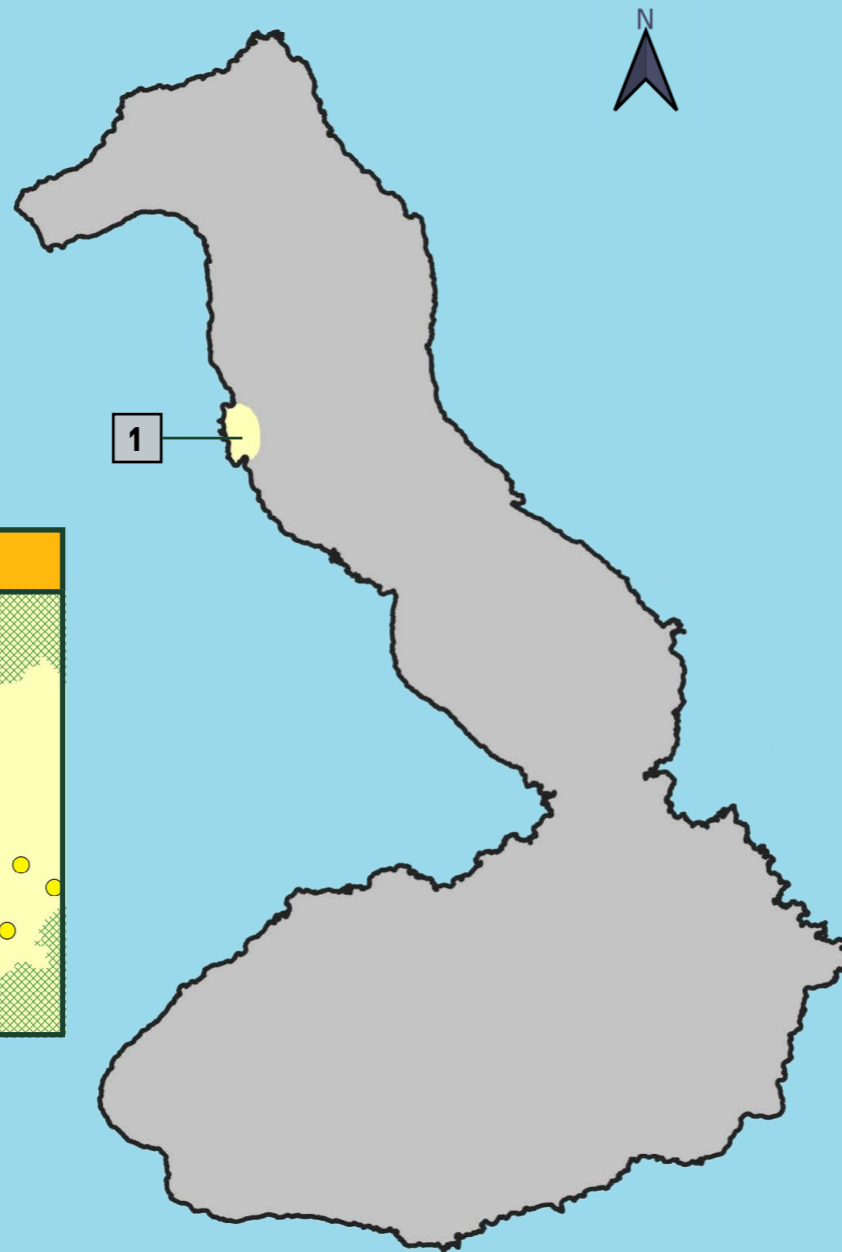


Fig. 10. Población de *Galvezia leucantha* subsp. *leucantha* en Playa Tortuga Negra 2017-2022. Se incluyen adultos y plántulas de origen natural, además de plantas cultivadas ex situ por GV2050 a partir de semillas recolectadas en el sitio. Elaboración de gráfico y fuente de datos: GV2050.

ISABELA NORTE—Objetivo

Contribuir a la recuperación de la especie en peligro de extinción *Galvezia leucantha* subsp. *leucantha*, registrada únicamente en Isabela Norte.

ISABELA NORTE—ACCIONES DE RESTAURACIÓN

Establecer una segunda población de *G. leucantha* subsp. *leucantha*

El Canal Bolívar destaca como un lugar ideal para establecer una segunda población de *G. leucantha*. Se ubica ~7 km al sureste de Playa Tortuga Negra, y con características ambientales similares, como lo señalan Jaramillo et al. (2017). Este lugar no es solo similar a Playa Tortuga Negra en términos ecológicos, sino que también ocupa un lugar importante en la historia botánica con la colección del registro más antiguo en el herbario de la FCD, cerca de Caleta Tagus (CDF, 2023). La presencia de una caseta de control de la DPNG establecida y frecuentemente visitada subraya aún más la idoneidad de Canal Bolívar al garantizar un monitoreo y cuidado constante de las plantas. Las plántulas cultivadas en la ECCD formarán la base de esta segunda población. Este esfuerzo aumentará la resiliencia de la subespecie ante desastres naturales o eventos climáticos extremos y mejorará nuestra comprensión de las características biológicas de la especie. Estos conocimientos son importantes para guiar futuras acciones de recuperación y promover la conservación a largo plazo de la especie.





Identificar estrategias efectivas para la recuperación de *G. I. leucantha* a través de experimentos in situ y ex situ

Se debe continuar los esfuerzos de germinación y repatriación de *G. leucantha* subsp. *leucantha* para identificar las mejores metodologías para aumentar el tamaño de la población. Las estrategias actuales incluyen protección con cercas metálicas, almacenamiento de semillas en un banco de semillas, ensayos de germinación de semillas, propagación ex situ y el uso de tecnologías Waterboxx. Debido al estado de peligro de las plantas, las tecnologías Waterboxx deben llenarse periódicamente para aumentar la supervivencia de las plantas, especialmente durante la estación seca. Una vez que la población sobrepase el tamaño poblacional objetivo que se definirá según datos demográficos (p. 64), será posible probar otras herramientas de restauración ecológica. Debido al tamaño muy pequeño de la población, es importante equilibrar la búsqueda de estrategias de recuperación efectivas con la protección de la población actual.

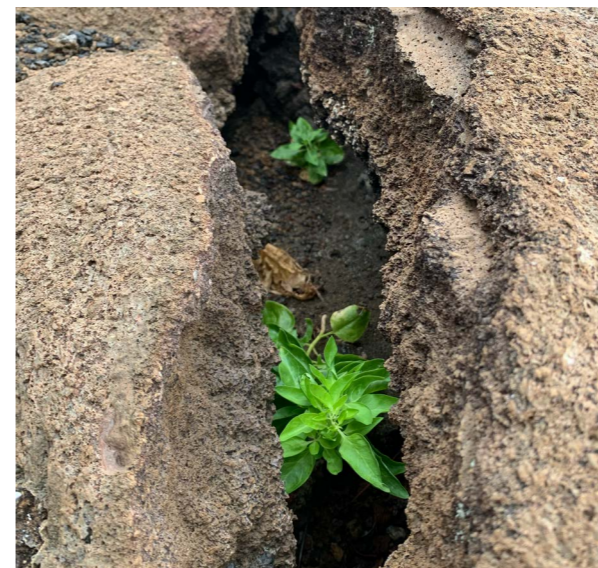
Monitorear el estado de la población y la distribución de *G. I. leucantha*

Monitorear todos los individuos de *G. leucantha* subsp. *leucantha* cerca de Playa Tortuga Negra y Canal Bolívar (una vez establecidos) al menos dos veces al año para evaluar el estado de la población y los resultados de los esfuerzos de recuperación. Seguimos una metodología de monitoreo estándar descrita en Jaramillo et al. (2021). Cuando encontramos nuevas plántulas, las protegemos y registramos sus coordenadas geográficas, para que puedan ser encontradas fácilmente en futuras expediciones de monitoreo. También planificamos revisar los datos del Herbario CDS e informes de búsquedas anteriores en Isabela Norte y Fernandina para determinar si se recomiendan nuevas búsquedas en otras áreas.



Identificar amenazas a la población de *G. I. leucantha* a través del estudio de su hábitat e interacciones biológicas

Identificar y abordar las amenazas más importantes que enfrenta *G. leucantha* subsp. *leucantha* para acelerar la recuperación. Las estrategias utilizadas para este propósito incluyen realizar inventarios de biodiversidad, registrar temperatura y precipitación en Playa Tortuga Negra e instalar cámaras trampa para comprender las interacciones con la vida silvestre circundante. En 2023, se detectó y trató una infestación de escamas introducidas (*Coccus* spp.). Por lo tanto, es importante monitorear los cambios en la cantidad de escamas, hongos y otras plagas que afectan a los individuos de *G. leucantha* subsp. *leucantha* (Jaramillo et al., 2024).



Fomentar la regeneración natural de *G. leucantha* subsp. *leucantha*

Aumentar la germinación de semillas in situ y la supervivencia de las plántulas de *G. leucantha* subsp. *leucantha* aplicando estrategias de regeneración natural asistida. Se propone la creación de semilleros improvisados en áreas de restauración que presenten condiciones favorables similares a aquellas donde se ha observado regeneración natural. Se sugiere regar los semilleros siempre que sea posible. Una posible estrategia para aumentar la germinación es utilizar tecnologías de hidrogel y Waterboxx para aumentar la humedad del suelo alrededor de las semillas. Además, se sugiere mejorar las condiciones de las plántulas creciendo naturalmente. Para aumentar la humedad del suelo, los nutrientes disponibles y proteger las plantas de la herbivoría, recomendamos emplear las estrategias de restauración mencionadas anteriormente en este documento, como el uso de herramientas de restauración ecológica y cercas metálicas.



Establecer un objetivo de tamaño poblacional mínimo para aumentar la probabilidad de persistencia a largo plazo de *G. leucantha* subsp. *leucantha*

Determinar un objetivo de tamaño poblacional mínimo para la población de *G. leucantha* subsp. *leucantha* en Playa Tortuga Negra. Considere las siguientes recomendaciones:

- Desarrollar un modelo de población mediante censos y experimentos para medir parámetros demográficos clave como tasas de germinación, tasas de crecimiento, reproducción (tasas de floración y fructificación) y tasas de mortalidad. El monitoreo a largo plazo y la recolección de datos en diferentes estaciones y condiciones ambientales son esenciales para capturar las variaciones en estos parámetros.
- Evaluar el riesgo de extinción y la viabilidad a largo plazo a través de un estudio de Análisis de Viabilidad Poblacional (AVP). Establecer una población objetivo muy por encima de la población mínima viable obtenida a través del modelo poblacional, para proporcionar una protección contra desastres o eventos climáticos extremos.
- Considerar el tamaño de la población de otras subespecies de *G. leucantha* subsp. *leucantha*. Dado que no existen registros históricos del tamaño poblacional de *G. leucantha* en Playa Tortuga Negra antes de que fuera perturbada, otras subespecies con poblaciones estables podrían usarse como referencia. Las tres subespecies comparten hábitats similares en acantilados, flujos de lava y cráteres (Guzmán *et al.*, 2017). Idealmente, las poblaciones de referencia deberían exhibir condiciones muy parecidas a las encontradas en Playa Tortuga Negra.

ISABELA NORTE—CRONOGRAMA

Objetivos	Pasos de restauración	2023	2024	2025	2026	2027
Ayudar a la recuperación de <i>Galvezia leucantha</i> subsp. <i>leucantha</i>	Identificar amenazas a la población de <i>G. leucantha</i> mediante el estudio de interacciones físicas y biológicas.					
	Identificar estrategias efectivas para la recuperación de <i>G. leucantha</i> mediante experimentos in situ y ex situ.					
	Monitorear el estado de la población y la distribución de <i>G. leucantha</i>					
	Fomentar la regeneración natural de <i>G. leucantha</i>					



PROTOCOLOS GENERALES PARA TODAS LAS ISLAS

RECOLECCIÓN, MANEJO, Y ALMACENAMIENTO DE SEMILLAS DE ISLAS REMOTAS

En todas las islas cubiertas por este Plan de Restauración, la clasificación, secado y transporte de semillas se realizará según protocolos establecidos por la Dirección del Parque Nacional Galápagos (DPNG, 2008a; 2008b). La recolección de semillas dependerá de la fenología de las especies recolectadas, algunas de las cuales producen frutos durante todo el año y otras solo cada dos a seis meses. Por lo tanto, la producción de plántulas se planificará según la disponibilidad de semillas y los objetivos de restauración.

Opuntia: Se recolectarán frutos maduros de cactus adultos en un área amplia para mantener la diversidad genética. Para Plaza Sur y Española, la recolección se realizará en toda la isla. Luego, todos los frutos se transportarán a la Estación Científica Charles Darwin (ECCD) y se procesarán siguiendo los protocolos establecidos por la Dirección del Parque Nacional Galápagos (DPNG, 2008a; 2008b). Además, para asegurar la producción de semillas viables, se recolectarán heces de iguanas terrestres y tortugas gigantes. Las heces se secarán al horno y se tamizarán para obtener semillas de *Opuntia*.

Los protocolos incluyen lo siguiente:

- Colocar en bolsas de papel todos los frutos y semillas recolectadas en la misma isla de origen. Etiquetar bolsas con isla, localidad, fecha, especie, y colectores.
- Colocar bolsas de papel de la misma isla u origen en bolsas plásticas y sellar. Etiquetar las bolsas.
- Rocíe el exterior de las bolsas de plástico con un insecticida biodegradable a base de piretrina.
- Transfiera las semillas en doble bolsa desde la isla de origen a la Estación Científica Charles Darwin (ECCD) en la Isla Santa Cruz.
- Seque las semillas en la estufa a 35-40 °C en bolsas de papel durante 2 días en el herbario CDS para destruir cualquier plaga y aumentar la longevidad de las semillas al reducir su contenido de humedad. Este proceso funciona para la mayoría de las especies (FAO, 2014) pero debe probarse cuando se aplica por primera vez con una especie en particular para evitar daños. Es probable que sea necesario secar semillas significativamente más grandes o más pequeñas a diferentes temperaturas o durante diferentes períodos de tiempo.
- Almacene las semillas en frascos esterilizados en ECCD, etiquetados con isla, localidad, fecha, especie y recolectores.
- Transportar semillas limpias, secas, esterilizadas y clasificadas al invernadero de la DPNG en Santa Cruz.
- Ubicar semillas dentro del área designada únicamente para la germinación de especies de su isla de origen.



GERMINACIÓN DE SEMILLAS

El protocolo de germinación actualmente utilizado por la FCD y la DPNG en el invernadero incluye los siguientes pasos:

- **Preparación del sustrato:** Colocar las semillas en un sustrato inerte compuesto de vermiculita y turba en bandejas de germinación o camas de semillero.
- **Protección contra aves:** Asegurarse de que las aves no tengan acceso al área de germinación para evitar daños a las semillas y plántulas.

ADAPTACIÓN DE PLÁNTULAS EN INVERNADEROS EX-SITU

Una vez germinadas, traslade las plántulas al área de crecimiento dentro del invernadero. El tiempo entre estas dos fases variará según la especie. Las plantas también necesitan una fase de adaptación antes de ser llevadas a la isla de origen para ser plantadas. **Se necesitan los siguientes pasos:**

- Una vez trasplantadas las plantas a bandejas forestales, permanecerán en estos contenedores durante todas las fases de crecimiento, adaptándose en el mismo invernadero para ser llevadas a su ubicación definitiva. En el invernadero de la DPNG se utilizan dos sustratos completamente inertes, ambos con elementos fisicoquímicos necesarios para sostener la planta en todas sus fases hasta la plantación (Chango com. pers. 2014). En la fase inicial, las semillas se colocan en un sustrato de germinación que contiene una mezcla de turba,

- **Riego:** Regar las semillas diariamente o según sea necesario, dependiendo de los requisitos de la especie.
- **Monitoreo:** Monitorear regularmente el desarrollo de las plántulas.
- **Transplante:** Una vez que las plántulas hayan desarrollado sus primeras hojas verdaderas, transplantarlas del sustrato a bandejas forestales.

perlita y vermiculita. Después de la germinación, las plántulas se colocan en un sustrato de producción de plántulas hecho de turba y perlita. Durante la fase de crecimiento, inspeccionar frecuentemente las bandejas forestales en busca de malezas y plagas y tratar cualquier infestación.

- En la fase de adaptación se reduce la frecuencia de riego y se ubican las plantas en una zona donde ya no tengan el 100% de protección de la luz solar. Esto les ayuda a adaptarse a las condiciones soleadas y áridas del hábitat natural. Se prefiere el invernadero del GV2050 para la adaptación debido a su ubicación en la zona árida, más similar a la mayoría de los sitios de plantación. El invernadero tiene una malla de tela de sombra al 50%, que permite cierta exposición al sol.



TRANSPORTE DE PLÁNTULAS DESDE SANTA CRUZ A SU ISLA DE ORIGEN

El transporte de plántulas desde Santa Cruz a su isla de origen requiere seguir estándares de bioseguridad descritos en el protocolo para el transporte de organismos vivos dentro y entre las Islas Galápagos (DPNG, 2008a; 2008b). Este paso es fundamental para evitar el riesgo de transportar cualquier tipo de organismo de una isla a otra.

Además, se siguen experiencias positivas y exitosas obtenidas con estudios similares en otras islas como ocurrió en la Isla Española (Atkinson et al., 2008; Coronel, 2002). Los siguientes protocolos se describen a continuación:

- Las plántulas permanecen en fase de adaptación y serán analizadas y observadas antes de ser transportadas a su isla de origen, seguido de estos pasos:

Remoción: las plántulas se retiran cuidadosamente de sus contenedores (bolsas de plástico/conos) con sustrato inerte.

Seguimiento cuidadoso: Se revisará cada planta para asegurar que no haya signos de enfermedad ni ningún tipo de plaga.

Control de plagas: En caso de que durante el monitoreo se detecte alguna plaga, se solicitará a los entomólogos de la FCD la identificación de la especie y asesoramiento sobre medidas de control.

- En el caso de *Opuntia*, al ser una planta suculenta y con base en la experiencia en la siembra de *O. megasperma* var. *orientalis* en Isla Española se realiza el mismo protocolo (Coronel, 2002; DPNG, 2008a) seguido de estos pasos:

Enjuague: los cactus se lavan con agua.

Trasplante: los cactus por naturaleza son plantas de crecimiento lento. Por tanto, las plántulas son pequeñas, por lo que se transportan en las mismas bandejas con vermiculita nueva.

- Inspección de la Agencia de Bioseguridad de Galápagos

Inspección detallada por parte de profesionales e instrumentos específicos, necesarios para garantizar un transporte seguro de los organismos.

Después de una inspección exitosa se obtiene un permiso de movilización.

- Para el transporte, las plántulas se colocan en cajas metálicas que se limpian con alcohol y luego se sellan (DPNG, 2008b). Además, se rociará un insecticida apto para plantas dentro de las cajas.



TÉCNICAS DE CONTROL DE MALEZAS

Las siguientes son algunas de las técnicas sugeridas por The Nature Conservancy (Tu et al., 2001) para el control de malezas en áreas naturales, muchas de las cuales se utilizan en Galápagos. Estos se pueden utilizar para eliminar las malas hierbas alrededor de plantas leñosas nativas o antes de plantar:

- El deshierbe manual es eficaz para pequeñas infestaciones de malezas o para malezas que crecen entre plantas nativas. Una desventaja es que altera el suelo, lo que puede provocar la germinación de más malas hierbas.
- Los herbicidas son generalmente más rentables y requieren menos tiempo que el deshierbe manual. Sin embargo, deben usarse con mucho cuidado en áreas naturales para evitar dañar la vegetación nativa y matar los organismos beneficiosos del suelo.
- Cortar la maleza con una cortadora de césped, un herbicida o una guadaña también es más rápido y rentable que desmalezar a mano. Sin embargo, se debe tener precaución ya que siempre existe el riesgo de cortar accidentalmente las plántulas nativas o endémicas.
- La solarización es el proceso de cubrir un área con plástico transparente para aumentar la temperatura del suelo y matar las malezas.

Algunas ventajas son que no utiliza químicos y mata las malezas en lugar de cortarlas. La solarización evita la alteración del suelo que puede desencadenar la germinación de las semillas de malezas.

- Ciclos de crecimiento y muerte: Esta técnica reduce el banco de semillas de malezas. Aplique técnicas de limpieza de malezas (herbicidas o solarización) después de que hayan surgido los pastos germinados por la lluvia. Supervise las plántulas nativas y deje espacios en las lonas para protegerlas. Repita el proceso varias veces hasta que se reduzcan los bancos de semillas de malezas.
- El mulching implica cubrir el área alrededor de la planta objetivo con hojarasca u otra vegetación del lugar para evitar que las semillas y plántulas de malezas reciban luz solar. También puede ayudar a preservar la humedad del suelo. Sin embargo, un inconveniente es que también puede impedir el crecimiento de especies nativas y endémicas deseables.

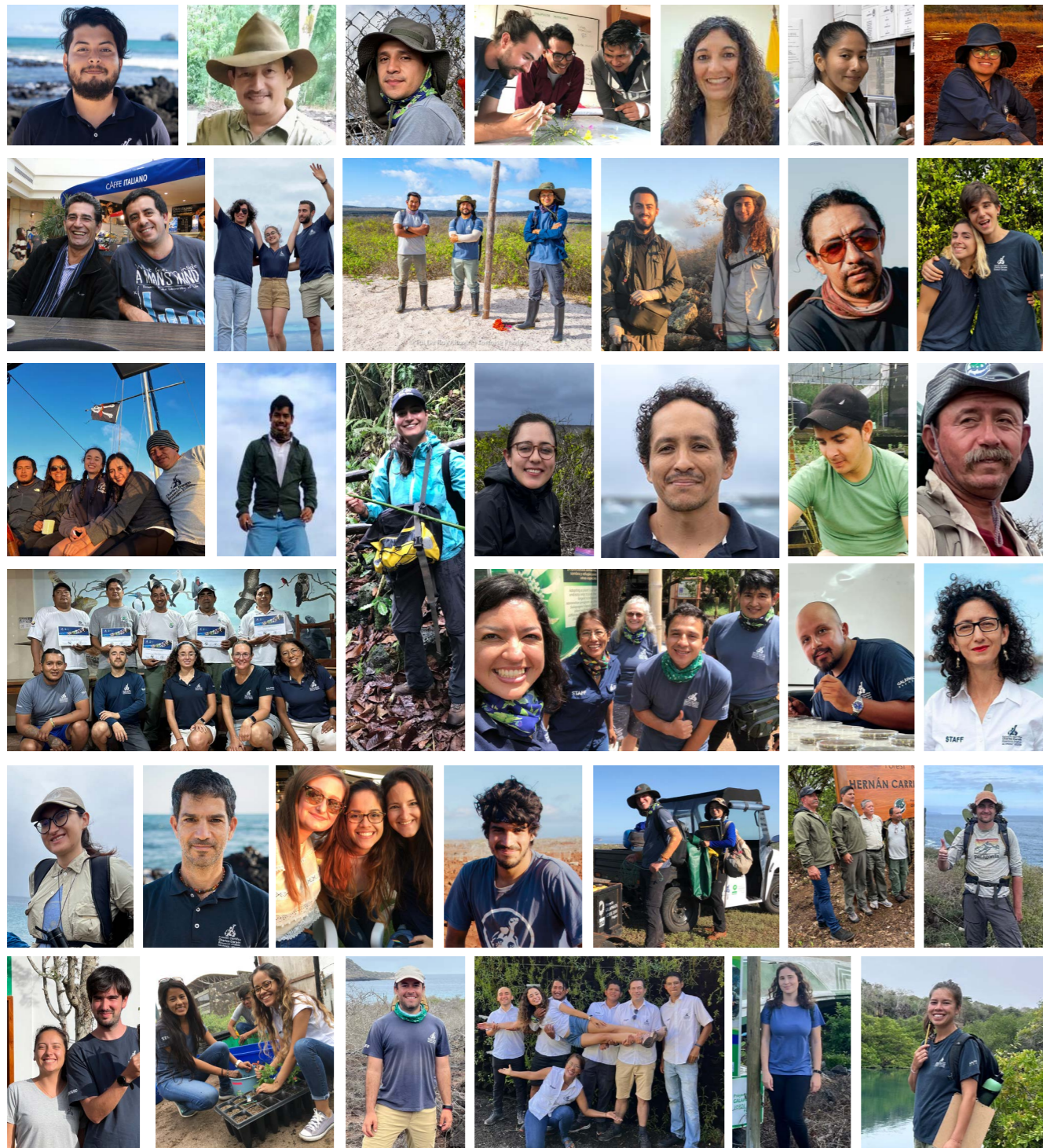
Antes de aplicar cualquier técnica para eliminar malezas, es importante monitorear los sitios en busca de plántulas nativas y endémicas y aplicar estrategias de protección física y herramientas de restauración ecológica para aumentar el crecimiento y la supervivencia de las plántulas.



AGRADECEMOS A TODOS/AS NUESTROS/AS COLABORADORES/AS, INCLUIDOS DONANTES, PERSONAL, Y VOLUNTARIOS/AS



AGRADECEMOS A TODOS/AS NUESTROS/AS COLABORADORES/
AS, INCLUIDOS DONANTES, PERSONAL, Y VOLUNTARIOS/AS



REFERENCIAS

- Anderson, D. J., Huyvaert, K. P., Wood, D. R., Gillikin, C. L., Frost, B. J., & Mouritsen, H. (2003). At-sea distribution of waved albatrosses and the Galapagos Marine Reserve. *Biological Conservation*, 110(3), 367–373. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(02\)00238-0](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(02)00238-0)
- Astudillo, F. J., & Jamieson, R. W. (2023). The Galapagos as penal colony: Exile, peonage, and state control at the Hacienda El Progreso, 1878–1904. *Punishment & Society*, 25(1), 42–59. <https://doi.org/10.1177/14624745211013100>
- Atkinson, R. (2007). Rescuing and restoring the endangered native plants of Española Island, Galapagos. A report to JAGA and Keidanren Nature Conservation Foundation from The Charles Darwin Foundation. 1–14.
- Atkinson, R., Jaramillo, P., Simbaña, W., Guézou, A., & Coronel, V. (2008). Advances in the conservation of threatened plant species of Galapagos. In *Galapagos Report 2007–2008* (pp. 97–102).
- Balseca, M. A. (2002). Respuesta de la lagartija de lava (*Microlophus albemarlensis*) a la erradicación de gatos ferales (*Felis catus*) en la Isla Baltra, Galapagos. *Universidad del Azuay*.
- Beheregaray, L. B., Gibbs, J. P., Havill, N., Fritts, T. H., Powell, J. R., & Caccone, A. (2004). Giant tortoises are not so slow: Rapid diversification and biogeographic consensus in the Galapagos. *PNAS*, 101(17), 6514–6519.
- BirdLife International. (2018). *Phoebastria irrorata*. The IUCN Red List of Threatened Species. <https://doi.org/10.2173/bow.wavalb.01.1>
- Black, J. (1973). *Galapagos Archipiélago del Ecuador* (Fundación). Verlag nicht ermittelbar.
- Buitrón, P. (2000). Evaluación del Programa de Crianza y Repatriación de la Población de Iguanas Terrestres de Baltra. *Universidad del Azuay (UDA)*. Cuenca.
- Callaway, R. M., Kikodze, D., Chiboshvili, M., & Khetsuriani, L. (2005). Unpalatable Plants Protect Neighbors from Grazing and Increase Plant Community Diversity. *Ecology*, 86(7), 1856–1862. <https://doi.org/10.1890/04-0784>
- Calle-Loor, A., Negoita, L., Jaramillo, L., Mayorga, P., Mahtani, S., Sevilla, C., & Jaramillo, P. (2022). Galapagos Verde 2050: Seymour Norte como ecosistema de referencia para restaurar Baltra. *Puerto Ayora-Isla Santa Cruz* (Issues 1390–6518).
- Calle-Loor, A., & Jaramillo Díaz, P. (2024). Advancing conservation strategies for the endangered Galapagos plant *Lecocarpus lecocarpoides*: Insights from ex situ propagation. *Endangered Species Research*, 54, 443–456.
- Campbell, K., Aguilar, K., Cayot, L., Carrión, V., Flanagan, J., Gentile, G., Gerber, G., Hudson, R., Iverson, J., Llerena, F., Ortiz-Catedral, L., Pasachnik, S., Sevilla, C., Snell, H., & Tapia, W. (2012). Mitigación para la iguana terrestre de Galapagos (*Conolophus subcristatus*) durante la aplicación aérea de cebos de brodifacoum con base cereal en la Isla Plaza Sur, Galapagos, para la erradicación del ratón (*Mus musculus*) v4.0. 1–25.
- Campbell, K. J., Carrión, V., & Sevilla, C. (2013). Increasing the scale of successful invasive rodent eradications in the Galapagos Islands. In *GNPS, GREG, CDF, & GC (Eds.), Galapagos Report 2011–2012* (Issue January, pp. 194–198). Puerto Ayora, Galapagos, Ecuador. Sources.
- Carrión, V., Donlan, C. J., Campbell, K. J., Lavoie, C., & Cruz, F. (2011). Archipelago-wide island restoration in the Galapagos Islands: Reducing costs of invasive mammal eradication programs and reinvasion risk. *PLoS ONE*, 6(5). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0018835>
- Castaño, P. A., Campbell, K. J., Baxter, G. S., Carrión, V., Cunnigham, F., Fisher, P., Griffiths, R., Hanson, C. C., Howald, G. R., Jolley, W. J., Keitt, B. S., McClelland, P. J., Ponder, J. B., Rueda, D., Young, G., Sevilla, C., & Holmes, N. D. (2022). Managing non-target wildlife mortality whilst using rodenticides to eradicate invasive rodents on islands. *Biological Invasions*, 0123456789, 1–18. <https://doi.org/10.1007/s10530-022-02860-0>
- Castro, J., Zamora, R., Hodar, J. A., Gomez, J. M., & Gómez-Aparicio, L. (2004). Benefits of using shrubs as nurse plants for reforestation in Mediterranean mountains: a 4-year study. *Restoration Ecology*, 12(3), 352–358.
- Cavieres, L. A., & Badano, E. I. (2009). Do facilitative interactions increase species richness at the entire community level? *Journal of Ecology*, 97(6), 1181–1191. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2009.01579.x>
- Cayot, L. J. (1991). Las iguanas terrestres regresan a Baltra. *Carta Informativa: Newsletter*, 32, 3.
- Cayot, L. J. (2021). Española Island: From Near Extinction to Recovery. In J. P. Gibbs, L. J. Cayot, & W. Tapia (Eds.), *Galapagos Giant Tortoises* (pp. 435–450). Elsevier, Academic Press.

REFERENCIAS

- Cayot, L. J., & Menoscal, R. (1994). Las Iguanas Terrestres regresan a Baltra. *Mammalia*, 124(53), 9–11.
- CDF. (2023). Databoard. version 4.9.8. Recuperado el 07 de abril de 2023, de <http://databoard.fcdarwin.org/ec/databoard.php>. Charles Darwin Foundation Galapagos Species Checklist.
- Cevallos, D., Calle-Loor, A., & Jaramillo, P. (2023). Conservation strategies for endangered species in Española island, Galapagos. 14th Student Conference on Conservation Science - New York.
- Cevallos, D., & Jaramillo, P. (2024). Assessing Water-Saving Technologies and the Impact of Giant Tortoise Herbivory on the Restoration of *Opuntia megasperma* var. *orientalis* on Española Island - Galapagos. *Water (Switzerland)* MDPI, 16(3–369), 12.
- Chen, J., Lü, S., Zhang, Z., Zhao, X., Li, X., Ning, P., & Liu, M. (2018). Environmentally friendly fertilizers: A review of materials used and their effects on the environment. *Science of The Total Environment*, 613–614, 829–839. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.186>
- Corbin, J. D., Robinson, G. R., Hafkemeyer, L. M., & Handel, S. N. (2016). A long-term evaluation of applied nucleation as a strategy to facilitate forest restoration. *Ecological Applications*, 26(1), 104–114. <https://doi.org/10.1890/15-0075>
- Coronel, V. (2002). Distribución y Reestablecimiento de *Opuntia megasperma* var. *orientalis* Howell. (Cactaceae) en Punta Cevallos, Isla Española - Galapagos. Tesis de Licenciatura. Universidad del Azuay.
- De-Vitis, M., Hay, F. R., Dickie, J. B., Trivedi, C., Choi, J., & Fiegenger, R. (2020). Seed storage: maintaining seed viability and vigor for restoration use. *Restoration Ecology*, 28(S3), S249–S255. <https://doi.org/10.1111/rec.13174>
- Delgado-Sánchez, P., Jiménez-Bremont, J. F., Guerrero-González, M. L., & Flores, J. (2013). Effect of fungi and light on seed germination of three *Opuntia* species from semiarid lands of central Mexico. *Journal of Plant Research*, 126(5), 643–649. <https://doi.org/10.1007/S10265-013-0558-2>
- Donlan, J. C., Carrión, V., Campbell, K. J., Lavoie, C., & Cruz, F. (2011). Biodiversity conservation in the Galapagos Islands, Ecuador: experiences, lessons learned, and policy implications. *Biodiversity Conservation in the Americas: Lessons and Policy Recommendations*, 221–240.
- DPNG. (2008a). Protocolo para el transporte de organismos vivos dentro y entre las islas Galpagos. In DPNG & CDF (Eds.), *Protocolos para viajes de campo y campamentos en las Islas Galápagos* (pp. 78–95). Ministerio del Ambiente, con el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF).
- DPNG. (2008b). Protocolos para viajes de campo y campamentos en las Islas Galápagos (DPNG & CDF (eds.)).
- DPNG. (2018). Informe anual 2018: visitantes a las áreas protegidas de Galápagos.
- DPNG. (2014). Plan de manejo de las áreas protegidas de Galápagos para el Buen Vivir. Puerto Ayora, Galápagos, Ecuador.
- El-Asmar, J. S., Jaafar, H., Bashour, I., Farran, M. T., & Saoud, I. P. (2017). Hydrogel Banding Improves Plant Growth, Survival, and Water Use Efficiency in Two Calcareous Soils. *Clean Soil Air*, 45(7). <https://onlinelibrary.wiley.com/journal/18630669>
- Enríquez-Moncayo, P., Calle-Loor, A., Jaramillo, L., Mayorga, P., Sevilla, C., & Jaramillo, P. (2021). Caracterización e identificación de los hongos asociados a las semillas de *Lecocarpus lecocarpoides* y la rizósfera de Punta Manzanillo en la Isla Española en el Archipiélago de Galápagos. *Fundación Charles Darwin*, 1–25.
- Erickson, V. J., & Halford, A. (2020). Seed planning, sourcing, and procurement. *Restoration Ecology*, 28(S3), S219–S227. <https://doi.org/10.1111/rec.13199>
- Estupiñán, S., & Mauchamp, A. (1995). Interacción planta–animal en la dispersión de *Opuntia* de Galápagos. Charles Darwin Foundation, Puerto Ayora.
- FAO. (2014). *Appropriate Seed and Grain Storage Systems for Small-scale Farmers* (C. Taruvinga, D. Mejia, & J. S. Alvarez (eds.)).
- FAO, IUCN, CEM, & SER. (2021). *Principles for Ecosystem Restoration to Guide the United Nations Decade 2021–2030* (FAO, IUCN, CEM, & SER (eds.)).
- FAO, SER, IUCN, & CEM. (2023). *Standards of practice to guide ecosystem restoration. A contribution*

REFERENCIAS

- to the United Nations Decade on Ecosystem Restoration. Rome, FAO. Summary Report, 18. <https://doi.org/10.4060/cc5223en>
- Flores, J., & Jurado, E. (2003). Are nurse-protégé interactions more common among plants from arid environments? *Journal of Vegetation Science*, 14(6), 911–916. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2003.tb02225.x>
- Franz, H. (1980). Old soils and land surfaces on the Galápagos islands. *GeoJournal*, 4(2), 182–184. <https://doi.org/10.1007/BF00160745>
- Gann, G. D., McDonald, T., Walder, B., Aronson, J., Nelson, C. R., Jonson, J., Hallett, J. G., Eisenberg, C., Guariguata, M. R., Liu, J., Hua, F., Echeverría, C., Gonzales, E., Shaw, N., Decler, K., & Dixon, K. W. (2019). *International principles and standards for the practice of ecological restoration. Second edition.* *Restoration Ecology*, 27(S1), 6–46. <https://doi.org/10.1111/rec.13035>
- Gardener, M. R., Atkinson, R., & Rentería, J. L. (2010). Eradications and people: Lessons from the plant eradication program in Galapagos. *Restoration Ecology*, 18(1), 20–29. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2009.00614.x>
- Geist, D. J., Naumann, T. R., Standish, J. J., Kurz, M. D., Harpp, K. S., White, W. M., & Fornari, D. J. (2005). Wolf Volcano, Galápagos Arcjipelago: Melting and Magmatic Evolution at the Margins of a Mantle Plume. *Journal of Petrology*, 46(11), 2197–2224. <https://doi.org/10.1093/petrology/egi052>
- Gerzabek, M. H., Bajraktarevic, A., Keiblinger, K., Mentler, A., Rechberger, M., Tintner, J., Wriessnig, K., Gartner, M., Valenzuela, X., Troya, A., Couenberg, P. M., Jäger, H., Carrión, J. E., & Zehetner, F. (2019). Agriculture changes soil properties on the Galápagos Islands-two case studies. *Soil Research*, 57(3), 201–214. <https://doi.org/10.1071/SR18331>
- Gibbs, J. P. (2013). *Restoring Isla Baltra's Terrestrial Ecosystems: A Prospectus* (p. 1).
- Gibbs, J. P. (2016). Balta Island Restoration as an Extraordinary Opportunity to Harness and Showcase Waterboxx Technology (pp. 1–3).
- Gibbs, J. P., Hunter, E. A., Shoemaker, K. T., Tapia, W. H., & Cayot, L. J. (2014). Demographic Outcomes and Ecosystem Implications of Española Island, Giant Tortoise Reintroduction to Española Island, Galapagos. *PLoS ONE*, 9(10), 1–15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0110742>
- Gibbs, J. P., Márquez, C., & Sterling, E. J. (2008). The role of endangered species reintroduction in ecosystem restoration: Tortoise-cactus interactions on Española Island, Galápagos. *Restoration Ecology*, 16(1), 88–93. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2007.00265.x>
- Glen, A.S., Atkinson, R., Campbell, K. J., Hagen, E., Holmes, N. D., Keitt, B. S., ... & Torres, H. (2013). Eradicating multiple invasive species on inhabited islands: the next big step in island restoration?. *Biological Invasions*, 15, 2589–2603.
- Grant, P. G., Grant, T., & Grant, R. (1991). *Erythrina velutina* and the colonization of remote islands. *Noticias de Galapagos*, 50, 3–5.
- Grant, P. R., & Grant, B. R. (1989). The slow recovery of *Opuntia megasperma* on Española. *Noticias de Galapagos*, 48, 13–15.
- Growboxx. (2020). *Manual de plantación Groasis Growboxx @ plant cocoon* Manual de plantación Groasis Growboxx @ plant cocoon.
- Guerrero, A. M., Pozo, P., Chamorro, S., Guézou, A., & Buddenhagen, C. E. (2008). Baseline data for identifying potentially invasive plants in Puerto Ayora, Santa Cruz Island, Galápagos. *Pacific Conservation Biology*, 14(2), 93–107. <https://doi.org/10.1071/PC080093>
- Guzmán, B., Heleno, R., Nogales, M., Simbaña, W., Traveset, A., & Vargas, P. (2017). Evolutionary history of the endangered shrub snapdragon (*Galvezia leucantha*) of the Galápagos Islands. *Diversity and Distributions*, 23, 247–260. <https://doi.org/10.1111/ddi.12521>
- Hamann, O. (1979). On Climatic Conditions, Vegetation Types, and Leaf Size in the Galapagos Islands. *Biotropica*, 11(2), 101–122. doi.org/10.2307/2387785
- Heleno, R., Blake, S., Jaramillo, P., Traveset, A., Vargas, P., & Nogales, M. (2011). Frugivory and seed dispersal in the Galápagos: what is the state of the art? *Integrative Zoology*, 6(2), 110–129. <https://doi.org/10.1111/j.1749-4877.2011.00236.x>

REFERENCIAS

- Hoff, P. (2014). Groasis technology: manual de instrucciones de plantación. In *Planting Manual Groasis Waterboxx® Plant Cocoon—Groasis Has Been Designated as National Icon by the Dutch Government for Being One of the 3 Most Innovative Projects of The Netherlands* (p. 27).
- Holl, K. D., Reid, J. L., Cole, R. J., Oviedo-Brenes, F., Rosales, J. A., & Zahawi, R. A. (2020). Applied nucleation facilitates tropical forest recovery: Lessons learned from a 15-year study. *Journal of Applied Ecology*, 57(12), 2316–2328. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13684>
- IUCN. (2017). IUCN SSC Species Conservation Planning Sub-Committee. Guidelines for Species Conservation Planning. IUCN Species Survival Commission.
- Jaramillo, P. (2009). Línea base ambiental y evaluación de impactos sobre el Componente Biótico para el Proyecto "Ampliación y Mejoras del Aeropuerto Ecológico Seymour-Balra.
- Jaramillo, P., Calle-Loor, A., Enríquez-Moncayo, P., Velasco, N., Román, A., Betancourt-Cargua, L., Villafuerte, T., & Villalba-Alemán, J. (2024). Amenazas para *Galvezia leucantha* subsp. *leucantha* (Plantaginaceae: Lamiales) - Evaluación de la composición vegetal y de invertebrados terrestres en Playa Tortuga Negra (Isabela Norte).
- Jaramillo, P., Guézou, A., Mauchamp, A., & Tye, A. (2017). CDF Checklist of Galápagos flowering plants. In F. Bungartz, H. Herrera, P. Jaramillo, N. Tirado, G. Jiménez-Uzcátegui, D. Ruiz, A. Guézou, & F. Ziemmeck (Eds.), *Charles Darwin Foundation Galápagos Species Checklist* (p. 326). Fundación Charles Darwin. Charles Darwin Foundation / Fundación Charles Darwin. <http://darwinfoundation.org/datazone/checklists/vascular-plants/magnoliophyta/> Last updated: 04 Jul 2017
- Jaramillo, P., Tapia, W., & Gibbs, J. P. (2017). Action Plan for the Ecological Restoration of Balra and Plaza Sur Islands (P. Jaramillo, W. Tapia, & J. P. Gibbs (eds.)).
- Jaramillo, P., Tapia, W., Málaga, J., & Tye, A. (2018). *Lecocarpus leptolobus* (Blake) Cronquist y Stuessy. In *Atlas de Galápagos* (pp. 54–56).
- Jaramillo, P., Tapia, W., Negoita, L., Plunkett, E., Guerrero, M., Mayorga, P., & Gibbs, J. P. (2020). *The Galapagos Verde 2050 Project (Volume 1)* (P. Paramillo, W. Tapia, & J. P. Gibbs (eds.); p. 67). Charles Darwin Foundation.
- Jaramillo, P., & Tye, A. (2018). *Galvezia leucantha*. In *Atlas de Galápagos* (pp. 64–66).
- Jordan, M. A., Snel, H. L., Snell, H. M., & Jordan, W. C. (2005). Phenotypic divergence despite high levels of gene flow in Galápagos lava lizards (*Microlophus albemarlensis*). *Molecular Ecology*, 14, 859–867. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2005.02452.x>
- Khatun, K. (2018). Land use management in the Galapagos: A preliminary study on reducing the impacts of invasive plant species through sustainable agriculture and payment for ecosystem services. *Land Degradation and Development*, 29(9), 3069–3076. <https://doi.org/10.1002/ldr.3003>
- Lacour, S. (1984). Reproductive ecology of the marine iguana *Amblyrhynchus cristatus* on Plaza Sur. San Diego State University.
- Land Life Company. (2015). Benefits of the COCOON technology. Available at <https://landlifecompany.com>.
- Lehmann, J., Gaunt, J., & Rondon, M. (2006). Bio-char Sequestration in Terrestrial Ecosystems – A Review. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 11(2), 403–427. <https://doi.org/10.1007/s11027-005-9006-5>
- León-Yáñez, S., Valencia, R., Pitman, N., Endara, L., Ulloa, C., & Navarrete, H. (2011). Libro rojo de las plantas endémicas del Ecuador, 2a edición. Publicaciones del Herbario QCA, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito (R. Valencia, N. Pitman, S. León-Yáñez, & P. M. Jørgensen (eds.); Herbario Q).
- McMullen, C. K., & Close, D. D. (1993). Wind pollination in the Galápagos Islands. *Noticias de Galapagos*, 52, 12–17.
- Márquez, C., Vargas, F. H., Snell, H. L., Gibbs, J. P., & Tapia, W. (2019). Why are there so few *Opuntia* on Española Island, Galápagos? *Ecología Aplicada*, August, 12.
- Mauchamp, A. (2007). Monitoreos de vegetación en el volcán Alcedo, Galapagos, Ecuador: Análisis y recomendaciones.

REFERENCIAS

- Naumann, T., & Geist, D. (2000). Physical volcanology and structural development of Cerro Azul Volcano, Isabela Island, Galápagos: implications for the development of Galápagos-type shield volcanoes. *Bulletin of Volcanology*, 61(8), 497–514. <https://doi.org/10.1007/s004450050001>
- Negoita, L., Dickinson, M., Mittelhauser, G. H., & Rajakaruna, N. (2016). A comparative study of the flora and soils of Great Duck and Little Duck Islands, Maine, USA. *Rhodora*, 118(973), 46–85.
- Negoita, L., Gibbs, J. P., & Jaramillo, P. (2021). Cost-effectiveness of water-saving technologies for restoration of tropical dry forest: A case study from the Galapagos Islands, Ecuador. *Restoration Ecology*, 1–11. <https://doi.org/10.1111/rec.13576>
- Novak, J., Busscher, W., D., W., Amonette, J., Ippolito, J., Lima, I., Gaskin, J., Das, K., Steiner, C., Ahmedna, M., Rehrah, D., & Schomberg, H. (2012). Biochars Impact on Soil-Moisture Storage in an Ultisol and Two Aridisols. *Soil Science*, 175(5), 310–320.
- Padilla, F. M., & Pugnaire, F. I. (2006). The role of nurse plants in the restoration of degraded environments. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 4(4), 196–202.
- Pedrini, S., & Dixon, K. W. (2020). International principles and standards for native seeds in ecological restoration. *Restoration Ecology*, 28(S3), S286–S303. <https://doi.org/10.1111/rec.13155>
- Phillips, R. B., Cooke, B. D., Campbell, K., Carrión, V., Márquez, C., & Snell, H. (2005). Eradicating Feral Cats to protect Galapagos Land Iguanas: methods and strategies. *Pacific Conservation Biology*, 11(4), 257–267. <https://doi.org/10.1071/PC050257>
- Phillips, R. B., Wiedenfeld, D. A., & Snell, H. L. (2012). Current status of alien vertebrates in the Galápagos Islands: invasion history, distribution, and potential impacts. *Biological Invasions*, 14(2), 461–480. <https://doi.org/10.1007/s10530-011-0090-z>
- Pulido, R. (2020). Estudio de la anatomía, viabilidad y germinación in vitro de semillas de *Lecocarpus lecocarpoides*, especie en peligro crítico de extinción y endémica del archipiélago de Galápagos.
- Power, M. E., Tilman, D., Estes, J. A., Menge, B. A., Bond, W. J., Mills, L. S., Daily, G., Castilla, J. C., Lubchenco, J., & Paine, R. T. (1996). Challenges in the quest for keystones: Identifying keystone species is difficult—but essential to understanding how loss of species will affect ecosystems. *BioScience*, 46(8), 609–620. <https://doi.org/10.2307/1312990>
- Racine, C., & Downhower, J. F. (1974). Vegetative and reproductive strategies of *Opuntia* (Cactaceae) in the Galápagos Islands. *Biotropica*, 6, 175–186.
- Radwan, M. A., Al-Sweasy, O. H., & Elazab, H. A. (2017). Preparation of Hydrogel Based on Acryl Amide and Investigation of Different Factors Affecting Rate and Amount of Absorbed Water. *Agricultural Sciences*, 08(02), 161–170. <https://doi.org/10.4236/as.2017.82011>
- Rentería, J. L. (2011). Towards an optimal management of the invasive plant *Rubus niveus* in the Galapagos Islands (Issue October).
- Restrepo, A., Colinvax, P., Bush, M., Correa-Metrio, A., Conroy, J., Gardener, M. R., Jaramillo, P., Steinitz-Kannan, M., & Overpeck, J. (2012). Impacts of climate variability and human colonization on the vegetation of the Galápagos Islands. *Ecology*. <https://doi.org/10.1890/11-1545.1>
- Shono, K., Cadaweng, E., & Durst, P. B. (2007). Application of Assisted Natural Regeneration to Restore Degraded Tropical Forestlands. *Restoration Ecology*, 15(4), 620–626. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2007.00274.x>
- Silva, P. A., Silva, L. L., & Brito, L. (2020). Using bird-flower interactions to select native tree resources for urban afforestation: the case of *Erythrina velutina*. *Urban Forestry & Urban Greening*, 51, 126677. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126677>
- Snell, H. L., Snell, H. M., & Stone, P. (1994). Accelerated mortality of *Opuntia* on Isla Plaza Sur: another threat from an introduced vertebrate? *Noticias de Galapagos*, 53, 19–20.
- Snell, H. L., Snell, H. M., & Tracy, C. R. (1984). Variation among populations of Galapagos land iguanas (*Conolophus*): contrasts of phylogeny and ecology. *Biological Journal of the Linnean Society*, 185–207. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.1984.tb02061.x>
- Snell, H. M., Stone, P. A., & Snell, H. L. (1996). A summary of geographical characteristics of the Galapagos Islands. *Journal of Biogeography*, 23(5), 619–624. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.1996.tb00022.x>
- Sønderberg Brok, C., & Adersen, H. (2007). Morphological variation among populations of *Lecocarpus* (Asteraceae) on the Galápagos Islands. *Bot. J. Linn. Soc.*, 154(4), 523–544. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2007.00677.x>

REFERENCIAS

- Stewart, A. (1911). A botanical survey of the Galápagos Islands. *Proceedings California Academy of Sciences*, 1(7), 283.
- Sulloway, F. J., & Noonan, K. (2015). *Opuntia* Cactus Loss in the Galapagos Islands, 1957-2014. Pérdida de cactus *Opuntia* en las Islas Galápagos. Final Technical Report , 12 January 2015, 1–30.
- Sulloway, F. J., Olila, K. J., Sherman, D., Queva, S., & Torres, A. (2014). Documentando cambios ecológicos en las islas Galápagos a través de tiempo desde de Darwin en Plaza Sur, Plaza Norte, Cerro Colorado (Santa Cruz), Santa Fe.
- Tapia, W. (2019). Giant Tortoise Restoration Initiative: Censo de la biodiversidad en la isla Fernandina. Reporte de campo. 1-14.
Tapia, W. (2020). Giant Tortoise Restoration Initiative: Censo en el Volcán Wolf. Reporte de campo. 1-19.
- Tapia, W., Carballo, V., Chimborazo, W., Ponce, G., Castillo, N., Gtri, A., García, D., Villafuerte, W., Cadena, J. P., Ballesteros, K., Villamar, W., Jiménez, R., Azuero, F., Yaulí, V., Valle, W., Gil,
- J., Ramírez, J., & Macías, J. (2019). Informe de campo: expedición en Volcán Darwin, Isla Isabela.
- Tapia, W., & Gibbs, J. P. (2022). Galapagos land iguanas as ecosystem engineers. *PeerJ*, 10, 1–12. <https://doi.org/10.7717/peerj.12711>
- Tapia, W., & Gibbs, J. P. (2023). Re-wilding giant tortoises engineers plant communities in the Galapagos Islands. *Conservation Letters*, 9. <https://doi.org/10.1111/conl.12968> <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/conl.12968>
- Tapia, W., Goldspiel, H. B., & Gibbs, J. P. (2021). Introduction of giant tortoises as a replacement “ecosystem engineer” to facilitate restoration of Santa Fe Island, Galapagos. *Restoration Ecology*, 30(1), 1–10. <https://doi.org/10.1111/rec.13476>
- Tapia, W., Málaga, J., Gil, O., Jiménez, E., Guerrero, B., Falcones, D., Schrier, A., Gavilanes, M., Benavides, E., Ballesteros, K., Chango, R., Azuero, F., Calva, M., Castillo, J., Jiménez, R., Villamar, S., Constante, C., Dpng, A. O., Pérez, C., Gibbs, J. P. (2019). Expedición completa en la isla Española.
- Tapia, W., Sevilla, C., Málaga, J., & Gibbs, J. P. (2021). Tortoise populations after 60 years of conservation. In

Galapagos giant tortoises (pp. 401-432). Academic Press.

- Toral-Granda, M. V., Causton, C. E., Jäger, H., Trueman, M., Izurieta, J. C., Araujo, E., ... & Garnett, S. T. (2017). Alien species pathways to the Galapagos Islands, Ecuador. *PLoS One*, 12(9), e0184379.
- Traveset, A., Heleno, R., Chamorro, S., Vargas, P., Nogales, M., Herrera, H. W., McMullen, K., & Olesen, J. M. (2013). Invaders of pollination networks in Galápagos Islands: emergence of the Gala novel communities. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 280(1758), 1–14.
- Trueman, M., & D'Ozouville, N. (2010). Characterizing the Galapagos terrestrial climate in the face of global climate change. *Galapagos Research*, 67, 26–37.
- Tu, M., Hurd, C., & Randall, J. M. (2001). *Weed Control Methods Handbook: Tools & Techniques for Use in Natural Areas*. The Nature Conservancy. <http://tncweeds.ucdavis.edu>
- Tye, A. (2011). Las plantas vasculares endémicas de Galápagos y su estado de amenaza. In S. León-Yáñez, R. Valencia, N. Pitman, L. Endara, C. Ulloa, & H. Navarrete (Eds.), *Libro rojo de las plantas endémicas del Ecuador*, 2aedición. Publicaciones del Herbario QCA, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito (pp. 44–51). https://ddrn.dk/wp-content/uploads/2018/01/LIBRO_ROJO_de_las_plantas_endemicas_del-1.pdf
- Tye, A., & Aldáz, I. (1999). Effects of the 1997-98 El Niño on the vegetation of the Galapagos. *Noticias de Galapagos*, 60.
- Tye, A., & Jäger, H. (2000). *Galvezia leucantha* subsp. *porphyrantha* (Scrophulariaceae), a New Shrub Snapdragon Endemic to Santiago Island, Galapagos, Ecuador. *Novon*, 10(2), 164–168.
- United Nations Environment Programme. (2021). *Ecosystem restoration for people, nature and climate*. In *Ecosystem restoration for people, nature and climate*. <https://doi.org/10.4060/cb4927en>
- Van Leeuwen, J. F., Froyd, C., van der Knaap, W. O., Coffey, E. E., Tye, A., & Willis, K. J. (2008). Fossil pollen as a guide to conservation in the Galapagos. *Science*, 322(5905), 1206. <https://doi.org/10.1126/science.1163454>
- Varela, L. G. (2018). Evaluación del efecto del

REFERENCIAS

poliacrilato de potasio sobre la productividad del cultivo de brócoli híbrido Avenger, en suelos del CADER. Universidad Central del Ecuador.

- Velasco, N., Calle-Loor, A., & Jaramillo, P. (2024). Defining large-scale arid island vegetation recovery targets through evaluating a reference system within an archipelago extent. *Restoration Ecology*.
- Vieira, D. M., & Scariot, A. (2006). Principles of Natural Regeneration of Tropical Dry Forests for Restoration. *Restoration Ecology*, 14(1), 11–20. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2006.00100.x>
- Wait, D. A., Aubrey, D. P., & Anderson, W. B. (2005). Seabird guano influences on desert islands: soil chemistry and herbaceous species richness and productivity. *Journal of Arid Environments*, 60(4), 681–695. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2004.07.001>
- Walentowitz, A., Manthey, M., Preciado, M. B., Chango, R., Sevilla, C., & Jäger, H. (2021). Limited natural regeneration of unique *Scalesia* forest following invasive plant removal in Galapagos. *PLoS ONE*, 16(10 October), 1–11. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0258467>
- Wang, J., Xiong, Z., & Kuzyakov, Y. (2016). Biochar stability in soil: meta-analysis of decomposition and priming effects. *GCB Bioenergy*, 8(3), 512–523. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/gcbb.12266>
- Winterhalder, K., Group, P. W., & Higgs, E. (2004). *The SER International Primer on Ecological Restoration Overview*. 2(2), 206–207.
- Woram, J. M. (1991). Who killed the iguanas? *Noticias de Galápagospagos*, 50, 12–17.
- Zahawi, R. A., Holl, K. D., Cole, R. J., & Reid, J. L. (2013). Testing applied nucleation as a strategy to facilitate tropical forest recovery. *Journal of Applied Ecology*, 50(1), 88–96.

DARWINFOUNDATION.ORG

© 2024 Fundación Charles Darwin. Todos los derechos reservados



Programa
GALAPAGOS
VERDE 2050
Program