

DIRECCIÓN DEL PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS
DIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL

- 1. Título del Proyecto: Programa Galápagos Verde 2050:**
Restauración ecológica de la isla Española, a través del manejo adaptativo para la recuperación de *Opuntia megasperma* var. *orientalis*
- 2. Institución:**
Fundación Charles Darwin y Dirección del Parque Nacional Galápagos
- 3. Nombre y Apellido del Investigador Principal y Participantes**

- **Investigadora Principal (FCD):**
Patricia Jaramillo Díaz: patricia.jaramillo@fcdarwin.org.ec 1710646165 (Ecuatoriana, Puerto Ayora-Isla Santa Cruz).
- **Contraparte DPNG:**
Christian Sevilla (contraparte técnica DPNG), Proceso de Conservación y Restauración de Ecosistemas Insulares, csevilla@galapagos.gob.ec, Puerto Ayora, Santa Cruz, Galápagos.
- **Investigador, Ecólogo, especialista en Botánica y restauración ecológica (FCD):** Por contratar.
- **Investigador, Ecólogo, especialista en micorrizas y estudios de suelo e interacciones (FCD):** Por contratar
- **Asistente de investigación en restauración ecológica (FCD):** Anna Calle anna.calle@fcdarwin.org.ec 0104059431 (Ecuatoriana, Puerto Ayora-Isla Santa Cruz)
- **Asistente de investigación (FCD):** Liliana Jaramillo liliana.jaramillo@fcdarwin.org.ec 1716044357 (Ecuatoriana, Puerto Ayora-Isla Santa Cruz)
- **Asistente técnico (FCD):** Paúl Mayorga: paul.mayorga@fcdarwin.org.ec 2000127262 (Ecuatoriano, Puerto Ayora-Isla Santa Cruz).
- **Asistente de campo:** Hamilton Jhon Mora Chango jhon.chango@fcdarwin.org.ec 2000153888 (Ecuatoriano, Puerto Velasco Ibarra-Isla Floreana).
- **Curador de la colección de invertebrados terrestres (FCD):** Lenyn Betancourt: lenyn.betancourt@fcdarwin.org.ec 2000045832 (Ecuatoriano, Puerto Ayora-Isla Santa Cruz).
- **Asistente taxónoma entomóloga CDS (FCD):** Andrea Carvajal: andrea.carvajal@fcdarwin.org.ec A0149173 (Colombiana).
- **Especialista en SIG (FCD):** Byron Delgado: byron.delgado@fcdarwin.org.ec 1717722167 Ecuatoriano, Puerto Ayora-Isla Santa Cruz.
- **Especialista en tecnologías de información y comunicación (FCD):** Mikel Goñi Molestina: mikel.goni@fcdarwin.org.ec 3050069453 (Ecuatoriano, Puerto Ayora-Isla Santa Cruz).
- **Especialista en Ecoturismo y proyectos ambientales (FCD):** Diego Núñez: diego.nunez@fcdarwin.org.ec 1711455673 Ecuatoriano, Puerto Ayora-Isla Santa Cruz.

3.1 Nombre de los investigadores adicionales

Nombre	Institución	Nacionalidad	Pasaporte/Cédula de identidad	Correo electrónico
Alberto Vélez	Agencia de Bioseguridad para Galápagos (ABG)	Ecuatoriana	2000066924	alberto.velez@abgalapagos.gob.ec
Ronald Azuero	Agencia de Bioseguridad para Galápagos (ABG)	Ecuatoriana	2000058236	ronal.azuero@abgalapagos.gob.ec
Marilyn Cruz	Agencia de Bioseguridad para Galápagos (ABG): Con convenio	Ecuatoriana	2000031639	marilyn.cruz@abgalapagos.gob.ec
Víctor Rueda Ayala	Agroscope Company	Ecuatoriana	1713554044	victor.rueda.ayala@nibio.no
Luka Negoita	The grant ecology	Estadounidense	550607307	lukanegoita@gmail.com
Christian Sevilla	DPNG	Ecuatoriana	914313275	csevilla@galapagos.gob.ec
Danny Rueda	DPNG	Ecuatoriana	912776887	drueda@galapagos.gob.ec
Diego Quito	Escuela Politécnica del Litoral ESPOL	Ecuatoriana	103578761	dquito@epol.edu.ec
Daniel Sherman	Galápagos Conservancy	Estadounidense	478243745	dansherman23@gmail.com

DIRECCIÓN DEL PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS
DIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL

Washington Tapia	Galápagos Conservancy	Ecuatoriana	1001506078	wtapia@galapagos.org
Andrés Cruz	Lindblad Expeditions-National Geographic/ Galapagos Workshop.	Ecuatoriana	2000074563	cruzandres95@gmail.com
Joshua Vela Fonseca	Lindblad Expeditions-National Geographic/ Galapagos Workshop.	Ecuatoriana	1715389274	joshua102004@gmail.com
José Cerca	Norwegian University of Science and Technology (NTNU).	Portuguesa	CB903952	jose.cerca@ntnu.no
Mike Martin	Norwegian University of Science and Technology (NTNU).	Estadounidense	561146504	mike.martin@ntnu.no
Michael Stewart	Troy University	Estadounidense	499669389	stewartpms@gmail.com
Alan Tye	UICN	Inglesa	7018531370	alan.tye@iucn.org
Jessica Duchicela	Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE	Ecuatoriana	1710463835	jiduchicela@espe.edu.ec
Cristian Pavel Enríquez	Universidad de las Fuerzas Armadas, Biotecnología	Ecuatoriana	1718193004	pavelenriquez96@gmail.com
María del Mar Trigo	Universidad de Málaga	Española	PAA038862	aerox@uma.es
James Gibbs	Universidad Estatal de Nueva York	Estadounidense	483694275	jpgibbs@esf.edu
Conley McMullen	Universidad Madison	Estadounidense	585472511	mcmullck@jmu.edu
Patricia Isabela Tapia	Universidad Southampton	Reino Unido	1722271374	pattysabela@gmail.com
Ole Hamann	University of Copenhagen	Danesa	207175044	oleh@snm.ku.dk

4. Justificación:

El Programa de Ciencia de la Sostenibilidad e Innovación Tecnológica del Plan de Manejo de las Áreas Protegidas de Galápagos (PMAPG), establece la investigación aplicada como la prioridad de investigación número 1 (DPNG, 2014). Además, define a ésta como aquella investigación que está “dirigida a la resolución de problemas de manejo relacionados con la conservación de especies, poblaciones, comunidades, ecosistemas, o sobre las interacciones entre los sistemas naturales y humanos”.

El Galápagos Verde 2050 (GV2050) es un programa de investigación interdisciplinaria, el cual combina **investigación pura y aplicada para el manejo adaptativo** (Jaramillo et al., 2015, 2020; P. I. Tapia et al., 2019; Negoita et al., 2021), con el propósito de contribuir al proceso de restauración ecológica de la isla Española, iniciado por la DPNG con **la erradicación de las cabras ferales en 1978 y la posterior repoblación de la isla con tortugas gigantes** (*Chelonoidis hoodensis*) (Cayot, 2021).

Con esos antecedentes, la FCD a través del Programa GV2050, en aplicación de los preceptos del PMAPG y en cumplimiento de la legislación vigente, planea implementar acciones de investigación que permitan la continuación del proceso de restauración ecológica de la isla Española. **Esto, basado en la recuperación de la población de *Opuntia megasperma* var. *orientalis*, especie cuya población sufrió una severa disminución, tanto por los impactos de las cabras introducidas, como por la ausencia de las tortugas por casi 200 años y que es el recurso alimenticio más importante para las tortugas gigantes.** El enfoque a aplicar para el proyecto, será el de manejo adaptativo, para lo cual se mantendrá constante monitoreo y se realizará los cambios o ajustes al diseño y metodología, en función de los resultados obtenidos, lo cual permitirá alcanzar los objetivos de conservación propuestos.

4.1. Restauración ecológica de Española a través de la repoblación con *Opuntia megasperma* var. *orientalis* una especie clave para el ecosistema de la isla

DIRECCIÓN DEL PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS
DIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL

Las islas Galápagos forman una región biológica única donde los procesos evolutivos y ecológicos han formado una diversidad excepcional de especies endémicas y ecosistemas estrechamente vinculados. Entre ellos se encuentra un majestuoso árbol de la isla Española — *Opuntia megasperma* var. *orientalis*, especie de la que se estima un remanente menor a 3.000 individuos en toda la isla (comunicación personal Tapia, W, Galápagos Conservancy, 2020). Hace dos siglos, las cabras fueron introducidas a la isla y rápidamente se volvieron invasoras, diezmando la población de *Opuntia megasperma* var. *orientalis*, lo cual, sumado a la ausencia de las tortugas gigantes, produjo efectos ecológicos que aún persisten (Gibbs et al., 2008). A pesar de la erradicación de las cabras en 1978, la recuperación de *Opuntia* desde entonces ha sido lenta (Marquez et al., 2019). Los factores ambientales existentes, como la herbivoría natural de la fauna endémica, la competencia interespecífica con otras plantas nativas y la tasa de crecimiento lenta intrínseca de *Opuntia*, han impedido el reclutamiento de la población de cactus, la cual es ahora demasiado baja para regenerarse con éxito sin intervención (Coronel, 2002). Esto es especialmente preocupante porque otras especies como la tortuga gigante dependen de *O. megasperma* var. *Orientalis* como fuente de alimento; pero también proporciona refugio y recursos como alimento, sombra y sitios de anidación a muchas otras especies nativas y endémicas (Gibbs et al., 2008) como las aves terrestres.

Debido a la importancia ecológica de esta especie, se necesita una intervención regular basada en un plan de investigación adaptativo e informado a través del monitoreo regular, para reconstruir una población de cactus saludable y próspera. Esto también tendrá un efecto ascendente positivo en su ecosistema, contribuyendo a la restauración de interacciones ecológicas únicas y procesos ecosistémicos importantes para la biodiversidad de la isla. Cabe indicar, además, que, de acuerdo con la Lista Roja de las Especies de la UICN, *Opuntia megasperma* var. *orientalis* endémica de Española está En Peligro (EN) de extinción (Coronel, 2002; Gibbs et al., 2008; Grant & Grant, 1989; Jaramillo et al., 2018; P. I. Tapia et al., 2019) y dicha lista agrega una urgencia particular a continuar este trabajo para lograr una repoblación exitosa (Jaramillo, 2000, 2017; Jaramillo et al., 2018; León-Yáñez et al., 2011; A. Tye, 2006; Alan Tye, 2007). Adicionalmente, aunque *Opuntia megasperma* es endémica para Galápagos y se encuentra distribuida en otras islas del archipiélago, la isla Española es el único lugar en donde existe una de sus variedades; *Opuntia megasperma* var. *Orientalis* (referencia).

Desde el 2014 cuando inició el GV2050, *Opuntia megasperma* var. *orientalis* ha sido parte de los objetivos de conservación (Jaramillo et al., 2020). Hace unos años, Márquez et al. (2003) para ayudar al crecimiento durante las etapas iniciales de vida, sugirieron un método de cultivo y replantación ex-situ para proteger los cactus juveniles en el campo. Los resultados preliminares con tecnologías ahorradoras de agua, también son prometedores para aumentar la supervivencia y la eficiencia de siembra de Opuntias (Jaramillo et al., 2018; P. I. Tapia et al., 2019; Negoita et al., 2021). Aunque se desconoce por completo cual fue la población histórica de *O. megasperma* var. *orientalis*, se puede predecir que la diversidad genética se ha reducido en la isla Española, debido a la baja densidad de la población y al limitado intercambio de polen (Helsen et al., 2009). Establecer un programa de recolección y monitoreo nos permitirá contribuir a nuestro banco de semillas de especies nativas y endémicas.

Aunque las cabras han sido erradicadas hace más de 40 años, la población de *Opuntia* en la isla Española actual con relación a la densidad y distribución observadas en imágenes históricas, es demasiado baja para regenerarse naturalmente debido a otros factores naturales estresantes como sequías extremas (Coronel 2002).

Nuestro proyecto pretende restaurar la población de ésta especie, a través de la siembra sistemática y monitoreo regular por al menos los próximos 10 años, con el propósito de inicialmente incrementar la población actual de aproximadamente 3000 individuos, en al menos un 25%.

5. Objetivos

Objetivo general:

Contribuir a la restauración de la integridad ecológica de la isla Española a través de la recuperación de la población de *O. megasperma* var. *orientalis*.

Objetivos específicos:

DIRECCIÓN DEL PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS
DIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL

- Continuar el proceso de restauración ecológica de Española incrementando la población de *O. megasperma* var. *orientalis* en al menos 750 individuos hasta finales del 2025.
- Desarrollar un protocolo de monitoreo que permita a largo plazo registrar los cambios en las interacciones planta-animal como resultado de la restauración de *Opuntia*.
- Determinar el método más idóneo, en función del costo-beneficio, para la restauración de la población de *Opuntia megasperma* var. *orientalis*.
- Comunicar los resultados de la restauración ecológica de Española, basado en la evidencia obtenida para *O. megasperma* var. *orientalis* en diversos formatos (i.e., paper científico, manual de restauración ecológica y documento de comunicación).

6. Vinculación al Plan de Manejo de las Áreas Protegidas de Galápagos (PMAPG).

El Programa de investigación Galápagos Verde 2050 se vincula directamente con las prioridades descritas en el PMAPG (Tabla 1).

Tabla 1. Estrategias del Plan de Manejo de las Áreas Protegidas de Galápagos vinculadas al proyecto Galápagos Verde 2050.

Programa	Objetivo Específico	Estrategia
1.1 Conservación y restauración de los ecosistemas y su biodiversidad.	1.1.2. Asegurar la conservación de la integridad ecológica y la resiliencia de todos los ecosistemas y su biodiversidad.	1.1.2.1. Desarrollar e implementar planes de acción específicos para la conservación de ecosistemas frágiles y especies amenazadas.
	1.1.3. Promover la restauración de la integridad ecológica y la biodiversidad de los ecosistemas degradados, para recuperar su funcionalidad y su capacidad de generar servicios ambientales.	1.1.3.1. Establecer un sistema de priorización para generar programas de restauración ecológica, en función del estado de conservación y las amenazas sobre los ecosistemas.
		1.1.3.3. Restaurar especies que hayan desaparecido o que actualmente mantienen poblaciones muy reducidas en su área de vida original.
1.2 Monitoreo de Ecosistemas y su biodiversidad.	1.2.2. Monitorear las especies focales para contribuir a la conservación de la biodiversidad de Galápagos.	1.2.2.2. Evaluar y fortalecer los planes de monitoreo de especies nativas y endémicas, especialmente las catalogadas como en peligro o vulnerables.
5.1 Ciencia de la sostenibilidad e innovación tecnológica	5.1.3. Incrementar e incorporar a la toma de decisiones el conocimiento científico interdisciplinario sobre los ecosistemas y la biodiversidad de Galápagos	5.1.3.3. Promover el desarrollo de estudios a largo plazo sobre procesos ecológicos y biofísicos, biodiversidad funcional y especies diana de los ecosistemas de referencia en coordinación con el programa de monitoreo.
		5.1.3.6. Fomentar y coordinar investigaciones encaminadas a la caracterización de las especies ecológicamente esenciales en cada tipo de ecosistema.
		5.1.3.7. Fomentar y coordinar investigaciones sobre las interacciones ecológicas en ciertos procesos clave, desde la perspectiva de la restauración de la integridad ecológica de los ecosistemas.

7. Metodología y Diseño

7.1. Área de Estudio

DIRECCIÓN DEL PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS
DIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL

Aunque *Opuntia megasperma* es endémica para Galápagos y se encuentra distribuida en otras islas del archipiélago, la isla Española es el único lugar en donde existe una de sus variedades; *Opuntia megasperma* var. *orientalis*. La cual, debido a la presencia histórica de las cabras ferales y la ausencia de las tortugas gigantes, según evaluaciones recientes e históricas de la isla se encuentra amenazada de extinción (Coronel 2002; Gibbs et al. 2008; Grant and Grant 1989; Jaramillo, Tapia, et al. 2018; Tapia et al. 2019).

Debido a que los pocos remanentes de *O. megasperma* var. *orientalis* que existen actualmente se concentran en la parte central de la isla, nuestros sitios de estudio serán Las Tunas y El Caco, pues centrarse en estos sitios promoverá la recuperación en toda la isla Española, a través de la dispersión de semillas promovida por tortugas y aves (Figura 1) (Atkinson et al. 2008; Jaramillo, Tapia, et al. 2018; Tapia, Goldspiel, and Gibbs 2021).

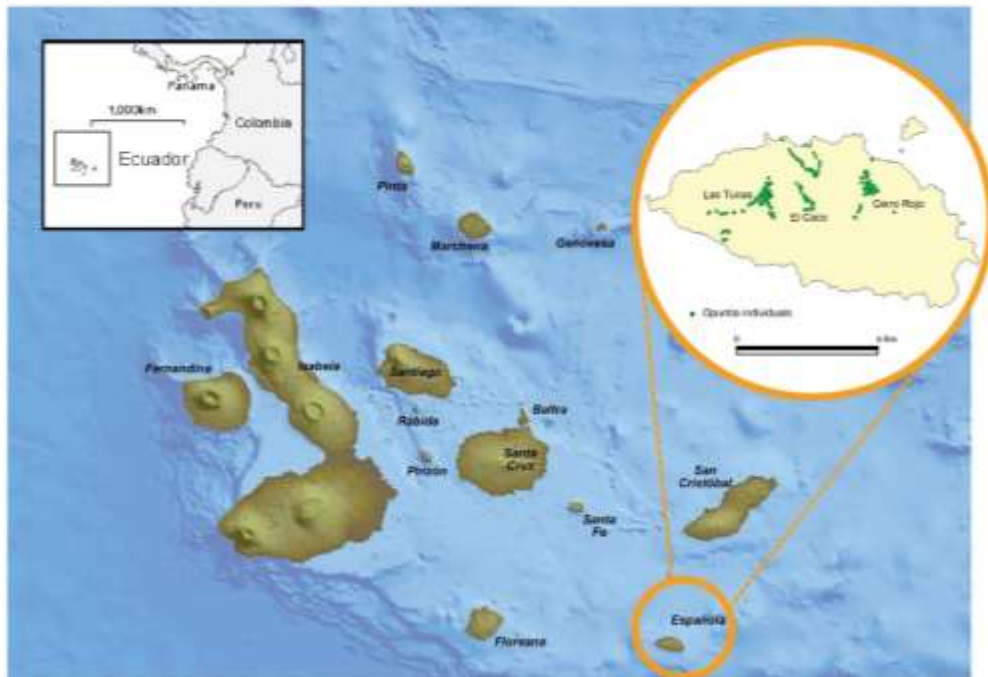


Figura 1. Ubicación geográfica de la isla Española y sitios de estudio para iniciar su restauración ecológica a través de la repoblación con *Opuntia megasperma* var. *Orientalis* (Archivos FC, 2002).

7.2. Metodología:

7.2.1. Restauración ecológica con *Opuntia megasperma* var. *orientalis*:

Pregunta de investigación: *Cómo medimos el éxito de las acciones de restauración de los sitios intervenidos en Española?*

Según los resultados de los experimentos anteriores de siembra de *Opuntia* en Española, se requiere **sembrar 600 plantas de *Opuntia* por año**, por los próximos tres años, para que un mínimo de **750 cactus sobrevivan después de 2025** (GV2050 Datos un publicados). Esto aumentará la población de aproximadamente 3000 a **3750 individuos**, lo cual equivale al 25% de la población existente actualmente.

Uno de los métodos que utilizaremos para la reproducción de *Opuntia megasperma* var. *orientalis* **es el sexual**, pues los ensayos de germinación ex-situ utilizando **semillas de excrementos de tortuga gigante** (Coronel 2002) arrojaron resultados prometedores en términos de incremento de la tasa de germinación **con respecto a las semillas obtenidas directamente de los frutos**. De hecho, gracias a esto actualmente crecen más de **150 individuos en el invernadero de la DPNG** y **80** en el laboratorio de la FCD para su reintroducción.

Adicionalmente, a inicios del **2017**, el equipo GV2050 junto con colaboradores de la Dirección del Parque Nacional Galápagos, inició los primeros pasos para restaurar esta especie en la isla,

DIRECCIÓN DEL PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS
DIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL

realizando experimentos de propagación asexual in-situ a partir de cladodios (Jaramillo, 2017). Desde entonces, se ha sembrado un total de 340 plantas de cactus, de las cuales 240 se las registró vivas durante los monitoreos de 2020 (Jaramillo et al. 2020). Aunque es un excelente comienzo, esto no es suficiente para mantener la población de *Opuntia* en la isla, bajo los niveles de presión natural de la herbivoría de las tortugas y aves, así como otros factores relacionados con el clima (Marquez et al. 2019; Tapia et al. 2021).

Por lo tanto, se necesita una intervención regular para construir una población saludable y próspera. Es por ello que la nueva fase de este proyecto, será un importante impulso para aumentar la población de *Opuntia megasperma* var. *orientalis* en al menos un 25%, para lo cual se probará la eficiencia del uso de tecnologías ahorradoras de agua y recopilará datos de forma sistemática para detectar cambios y así garantizar que desarrollamos un proceso adaptativo basado en evidencia sólida que permita alcanzar los objetivos de restauración a largo plazo.

Además, se desarrollará un estudio completo de la flora vascular y los invertebrados terrestres asociados a los sitios de estudio, el cual servirá como línea base y será esencial para monitorear los cambios a largo plazo que resultan de la restauración de *Opuntia*; además ayudará a complementar las colecciones de referencia del herbario CDS y del museo de invertebrados.

Todo este trabajo que permitirá determinar el método más costo-eficiente para la restauración ecológica de Española, a través de la repoblación con *Opuntia megasperma* var. *orientalis*, se centrará específicamente en los resultados y circunstancias particulares de la isla Española y se dividirá en dos fases:

7.2.1.1. Fase 1: Ensayos preliminares

Debido a que las plántulas son vulnerables a la herbivoría de las aves, con el propósito de probar si la germinación in-situ y el crecimiento precoz para estimular el endurecimiento y el crecimiento de las espinas que pueden aumentar la protección de los herbívoros, pueden ser una solución, tanto para plántulas provenientes de semillas como para aquellas provenientes de cladodios, se realizará experimentos a pequeña escala: 50 plántulas y 50 cladodios, una parte protegidos con malla para evitar la herbivoría y la otra sin protección.

7.2.1.2. Fase 2: Tratamientos en parcelas a gran escala

La segunda fase comprende el uso de parcelas a gran escala y con cercados para excluir la herbivoría de las tortugas gigantes, lo cual se implementará como sigue:

- El diseño experimental consistirá en cinco parcelas de 36 m² (6 mx 6 m) cercadas con malla metálica y tubos para aislar a las tortugas gigantes. En ellas se aplicará cinco tratamientos diferentes (descritos más adelante) con 36 réplicas al azar. Dos de los cinco cercados se los construyó en 2021 combinados con un solo cercado, debido a que el área era extremadamente rocosa, por lo tanto, estas dos parcelas están al interior de un cercado de 6 mx 15 m (90 m²) (Figura 2).

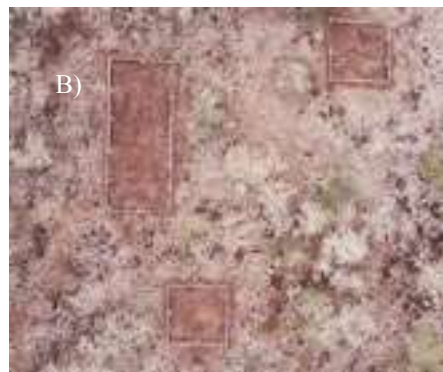


Figura 2. Cercados permanentes para iniciar con los cinco tratamientos para la producción in-situ de plantas de *Opuntia* en la isla Española. **A.** indica un cercado de 6 x 6 metros. **B.** vista espacial de cercados individuales (Fotos GV20250).

DIRECCIÓN DEL PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS
DIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL

Los tratamientos a implementar para esta fase del proyecto, se detallan a continuación:

- a) **Siembra de cladodios fortalecidos:** En este tratamiento, los cladodios de *Opuntia* colectados en el campo serán sembrados primero en un lugar protegido (junto al tanque recolector de agua), donde permanecerán al menos un año para que desarrollen raíces y posteriormente para ser trasladados a las parcelas cercadas, solo se utilizará aquellos cladodios que hayan desarrollado raíces y estén fuertes, de forma que se asume estarán mejor preparados para sobrevivir en las parcelas, con aislamiento de las tortugas, pero no de las aves.
- b) **Siembra de plántulas fortalecidas:** Será similar al tratamiento anterior, pero con la diferencia de que la siembra no será de cladodios sino de plántulas obtenidas en el campo a partir de semillas, y que el tiempo de permanencia protegidas será entre uno y dos años, previo a ser trasplantadas a las parcelas cercadas.
- c) **Siembra directa de cladodios (control):** En este tratamiento, se colectará los cladodios, se esperará entre 2 y 4 días para que cicatrice el área en la cual se desprenden de la planta y serán sembradas directamente en las parcelas cercadas con malla.
- d) **Siembra directa de semillas (control):** Para este tratamiento se utilizará 10 semillas de *Opuntia* obtenidas en el campo, mediante extracción desde excrementos de tortuga, y se las sembrará directamente en el suelo, entre rocas que forman un entorno natural de germinación y crecimiento para las plántulas y es la forma típica como se encuentran de forma natural. La razón para sembrarlas entre rocas, es por al parecer las semillas requieren algo de sombra para la germinación y el crecimiento inicial.
- e) **Siembra de semillas con Hidrogel:** Resultados previos del GV2050, sugieren que una pequeña cantidad de Hidrogel puede mejorar la germinación y el crecimiento inicial de las plántulas de *Opuntia*, por ello se realizará experimentos preliminares en el laboratorio para reconfirmar esta observación y luego se lo aplicará en la isla. En la fase experimental de laboratorio se utilizará un mínimo de 80 semillas divididas unas con hidrogel y otras sin esta tecnología, esto para poder determinar si hay diferencias en las tasas de germinación y supervivencia; así como medir las características de resistencia (como la longitud y densidad de la estructura central de las plántulas).

Cada uno de los cercados (las parcelas), se han sido ubicados de forma aleatoria, pero cercanos al sitio de estudio preliminar en 'Las Tunas'. Los requisitos básicos fueron áreas abiertas donde no hay competencia con el dosel de otras especies. Dentro de cada parcela, se distribuirá al azar siete u ocho réplicas de cada tratamiento en cuadrículas un metro cuadrado (Figura 3):

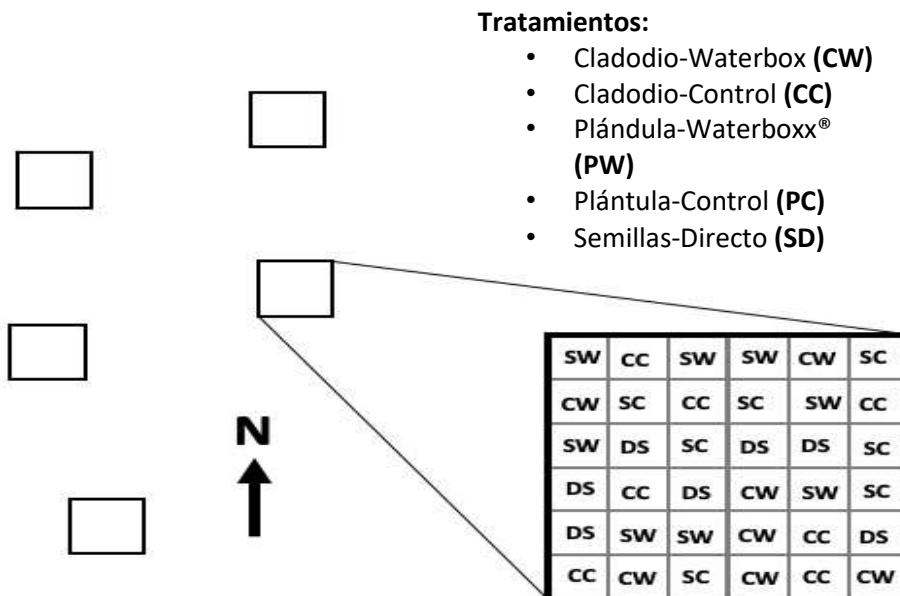


Figura 3. Un ejemplo de cómo los tratamientos se asignan al azar en la cuadrícula de 36m² de cada parcela. Todas las parcelas están orientadas con las direcciones cardinales y el punto central de cada una se utilizará para registrar su ubicación con coordenadas.

DIRECCIÓN DEL PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS
DIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL

Este diseño experimental producirá una muestra de un mínimo de 36 réplicas en las cinco parcelas y como tal presenta **el tamaño de muestra mínimo requerido para tener suficiente poder estadístico para probar el efecto de estos tratamientos en la supervivencia de *Opuntia***. Aunque el alcance de estas siembras es principalmente para **evaluar los tratamientos más costo-eficientes y no como una forma de restauración real**. El diseño condensado permite una evaluación más rápida de este objetivo principal.

Establecimiento de parcelas y tratamientos:

Todos los cercados deben estar completamente instalados y en funcionamiento antes de iniciar una siembra. Los cercados se construirán de acuerdo con los protocolos locales para la protección efectiva de las tortugas gigantes. Una vez que se completen los cercados, **todas las siembras por tratamiento deben realizarse en el mismo viaje de campo para garantizar que todos los tratamientos se inicien aproximadamente al mismo tiempo**. Aunque en el pasado se necesitaba muchos días y trabajadores para sembrar incluso 100 plantas, en este caso, todas las siembras serán adyacentes entre sí y **no se requerirá mallas individuales**, por lo que el tiempo de siembra se puede reducir sustancialmente.

Dentro de la subparcela de un metro cuadrado disponible para cada réplica, la plántula, el cladodio o las semillas serán sembradas en un lugar del suelo que evite la cobertura rocosa completa. Aunque se elegirá las ubicaciones de las parcelas para garantizar que haya menos rocas en el suelo, habrá casos en los que se produzca un determinado tratamiento en un suelo demasiado rocoso (remoción de rocas) para sembrar: **En esos casos, los tratamientos se los cambiará aleatoriamente en el momento de la siembra, utilizando un generador de números aleatorios para garantizar que se pueda establecer todos los tratamientos y, al mismo tiempo, respetar la naturaleza aleatoria del diseño.**

En total, para los tratamientos (para tener en cuenta también la mortalidad por transporte), se necesitará tener **40 plántulas y 40 cladodios cultivados en el campo durante 1-2 años y listos para trasplantar**, así como **40 cladodios colectados al momento de la siembra** y un total de **780 semillas que deben ser colectadas de excrementos secos de tortuga antes de la siembra**.

Un aspecto adicional importante del protocolo a la hora de sembrar es que, **todos los tratamientos recibirán la misma cantidad de agua**, que se medirá con un balde marcado. En el caso de controles y siembra directa se utilizará primero cinco litros de agua en el suelo para humedecerlo, y luego se utilizará los 15 litros restantes después de la siembra. Para asegurar que las plantas / semillas no se inunden con demasiada agua a la vez, una parte del agua se aplicará con una regadera y el resto con un balde o cubo con un pequeño orificio en el borde inferior. **El balde se puede colocar en el borde del cladodio / plántula / semilla, con el orificio en el fondo más cercano al cladodio / plántula / semilla, y luego el cubo será llenado con el agua medida, para que pueda drenar lentamente a través del orificio (s) a la planta durante un período de varios minutos en lugar de todo a la vez**. Esto evitará que el agua se escurra. **Se realizará varias pruebas con este método antes de ir a Española para asegurar que el sistema funciona y que los orificios en el balde no sean demasiado pequeños o demasiado grandes.**

Durante el establecimiento, se registrará datos sobre la **cantidad de tiempo que se tardó en sembrar cada tratamiento**. Esto se hará a través de tiempos repetidos de al menos 10 siembras diferentes con cada tratamiento utilizando al menos dos grupos diferentes de trabajadores. Estos tiempos serán agregados al tiempo y los gastos generales para el viaje de campo, **esto permitirá en el futuro un análisis directo del costo-beneficio de cada tratamiento**.

Transporte de plántulas desde Santa Cruz y siembras en otras islas

El transporte desde Santa Cruz de plántulas germinadas ex-situ (invernadero y laboratorio) hasta su isla de origen (Española), se hará siguiendo el **Protocolo para el transporte de organismos vivos dentro y entre las islas Galápagos establecido por la DPNG (DPNG, 2008)**. Se dará continuidad además al **Plan de Acción** para la restauración ecológica de islas remotas (Jaramillo et al., 2017).

DIRECCIÓN DEL PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS
DIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL

Antes de iniciar la siembra en su hábitat natural, las plántulas serán colocadas **bajo sombra** para un proceso de pre-adaptación in-situ. Además basados en lo recomendado por (Coronel, 2002; Hicks & Mauchamp, 1999) y los protocolos establecidos por el proyecto, se incluirá un enjuague con agua esterilizada antes de la siembra (Jaramillo et al., 2020).

Medida de los cambios en la vegetación de los sitios de estudio, mediante el uso de imágenes aéreas de alta resolución

En el campo de las Tecnologías de la Información y comunicación ha surgido la herramienta de los UAVs o **drones** por sus siglas en inglés (Unmanned Aerial Vehicles) que han diversificado las opciones en las áreas de investigación. La ecología de las plantas no es una excepción; realizar monitoreos aéreos, de bajas altitudes en áreas pequeñas, es una realidad de alta utilidad para fines de investigar vegetación y por tanto ecología de un sitio en proceso de restauración ecológica. Debido a que las áreas intervenidas por el proyecto se han incrementado y el número de plantas sembradas cada vez es mayor, resulta necesario y prioritario conocer los cambios en la vegetación y como tal documentar la recuperación del ecosistema en cada sitio de estudio en proceso de restauración ecológica.

Personal y protocolos para el uso de drones

El uso de los drones como herramienta para el proceso de restauración ecológica que desarrolla el proyecto GV2050 contará con personal calificado y certificado, con amplia experiencia de vuelo de drones para uso científico y que son parte del permiso de investigación. Se utilizará un **dron Mavic Air 2 Fly**, con hélices tipo helicóptero. La metodología utilizada seguirá todos los protocolos y regulaciones establecidas en la **Resolución 055** de la DPNG (DPNG-MAE, 2019) y la nueva regulación ecuatoriana para el uso de drones (Operación de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAs) de la Dirección de Aviación Civil noviembre 2021).

Monitoreos aéreos

Se utilizará el Dron para realizar monitoreo aéreo **trimestral** en todos los sitios de estudio del proyecto. Los vuelos serán a una altura de entre **40 y 50 metros**, lo que permitirá alcanzar un tamaño de pixel subcentímetro. La periodicidad podría cambiar si las condiciones meteorológicas no permiten realizar los vuelos.

Análisis de imágenes aéreas

Las imágenes obtenidas en estas campañas se procesarán en el software donado al departamento de Manejo de Conocimiento de la FCD **Agisoft Photoscan**, para corregirlas atmosférica y geoméricamente, con el fin de obtener los respectivos modelos digitales de terreno y una imagen compuesta u ortomosaico. Posteriormente, usando Sistemas de Información Geográfica (ESRI, ArcGIS, QGIS), se procederá a la **clasificación supervisada** de vegetación por especie y el **cálculo de densidades e índices de vegetación**. Estos datos permitirán construir hojas de cálculo o bases de datos de los sitios de estudio con sus indicadores para poder compararlos **temporal y estadísticamente**. De esta manera se alcanzará una muestra cuantitativa del proceso de restauración ecológica del proyecto en los sitios de estudio monitoreados.

Índices de vegetación

El levantamiento de información aérea de alta resolución espacial permitirá, además, medir la **calidad de la vegetación**. Para cada uno de los monitoreos se calculará los **índices de vegetación del rango visible**: Visible Atmospheric Resistant Index (**VARI**) y Triangular Greenness Index (**TGI**) (Hunt et al., 2012; McKinnon & Hoff, 2017). Mediante estos, se podrá obtener datos que fundamenten adecuadamente la toma de decisiones para las acciones de restauración ecológica, justificándose con los datos numéricos que se obtenga con los índices de vegetación y la densidad de las especies en cada sitio de estudio. Cabe indicar además que esta información aérea periódica ayudará a la construcción de indicadores cuantificables, con los índices de vegetación (McKinnon, 2017) que se obtenga en los vuelos, de forma que se convierta en una herramienta para **evaluar el proceso de restauración ecológica** en los sitios de estudio del GV2050.

DIRECCIÓN DEL PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS
DIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL

7.2.2. Monitoreo a largo plazo para medir los cambios en la biodiversidad (plantas vasculares e invertebrados asociados a los sitios de estudio), como resultado de la restauración de *Opuntia*.

El monitoreo a largo plazo de los cambios en la diversidad florística de Española, se iniciará con la compilación de información existente y será complementada con el levantamiento de una **línea base de la diversidad de vegetación vascular y de invertebrados asociados a los sitios de estudio**. La línea base se realizará mediante **cuadrantes de barrido en los que se realizará la evaluación total de la vegetación nativa, endémica e introducida** (Braun-Blanquet, 1979; Matteucci, 1982; Matteucci and Colma, 1997; Mauchamp, 1996).

Para la colecta de muestras, se cumplirá con los protocolos estandarizados para la colección de especímenes botánicos (Jaramillo, 2000a, 2002; Jaramillo & Bungartz, 2007). Además, a cada parcela se la registrará con un código propio (ID), y se tomará datos ambientales y biológicos de cada sitio.

Caracterización de invertebrados presentes en cada sitio de estudio

Los invertebrados terrestres de Galápagos están fuertemente asociados a la flora endémica y nativa, la cual les provee no solo de refugio o alimento, sino que además los sitios idóneos para la reproducción y anidamiento (Boada, 2005; Jaramillo *et al.*, 2010; Meier, 1994; Wheeler, 1924). **Actualmente son muy pocas las investigaciones realizadas sobre las relaciones específicas entre insectos y plantas** (Boada, 2005). Estos estudios son importantes debido a que algunas poblaciones vegetales endémicas se han reducido por efecto de las especies introducidas (Jaramillo *et al.*, 2010), es por ello que, propiciar el conocimiento de los invertebrados relacionados a la vegetación es vital para favorecer la conservación, restauración de la flora y sus servicios ecosistémicos.

Para determinar la diversidad de invertebrados asociados a los sitios de estudio de la isla Española, se empleará métodos de muestreo activos como, **red entomológica y trampas de luz, y muestreos pasivos como trampas Pitfall y Pan Trap** (Borkent *et al.*, 2018; Campbell & Hanula, 2007; Mammola *et al.*, 2016; Santos & Fernandes, 2020) **adicionalmente se colectarán muestras de sustrato en busca de invertebrados asociados a las raíces de las plantas y el suelo**. Con los datos obtenidos se realizarán análisis de abundancia, riqueza y diversidad de los sitios muestreados (Chao *et al.*, 2014; Gotelli & Chao, 2013). Los especímenes colectados, luego de su identificación serán depositados en la Colección de Invertebrados Terrestres (ICCDRS) de la FCD, como lo disponen las regulaciones de la DPNG y los resultados serán publicados en revistas científicas.

Muestras botánicas

En caso de que en los sitios de estudio se registre alguna especie de planta que no sea posible su identificación in-situ, se colectará muestras botánicas, para su posterior identificación. Las muestras colectadas, luego de su identificación serán depositadas en la colección de referencia en el Herbario CDS, como lo disponen las regulaciones de la DPNG.

Este componente contribuirá a complementar las colecciones de historia natural (invertebrados y herbario) de la FCD, con base en sitios y taxa poco representados.

Monitoreo y recopilación de datos:

Después de la siembra, todas las parcelas serán **monitoreadas después de tres meses, seis meses, un año y luego una vez al año**. Durante el monitoreo, se recopilará los siguientes datos:

- **Fecha de monitoreo**
- **La supervivencia de cladodios o plántulas de cada siembra**
- **El número de plántulas germinadas y sobrevivientes al tratamiento de siembra directa.**
- **La altura de cada individuo superviviente**
- **La presencia de cualquier indicio de herbivoría o daño a cladodios / plántulas**
- **La presencia de frutos o flores.**

Tareas a realizar en cada visita de monitoreo:

- Se asegurará que cada cercado siempre esté rígido y que la cerca no se vea intervenida o movida por las tortugas (se arreglará según sea necesario).

DIRECCIÓN DEL PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS
DIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL

Este esquema de monitoreo continuará durante un tiempo mínimo de cuatro años (mínimo seis monitoreos), tiempo en el que se habrá recopilado datos suficientes para permitir una evaluación estadísticamente adecuada de todos los tratamientos y su efecto sobre la supervivencia, el crecimiento y los costos asociados para la restauración de *Opuntia*. También se recopilará datos climáticos adicionales de fuentes en línea para usarlos al modelar el efecto de estos tratamientos en la supervivencia y el crecimiento de *Opuntias* que usan estos tratamientos. Para ajustar adecuadamente estos datos se colocará en el área de estudio un medidor de precipitación y temperatura (DS1921G-F5# iButton"; "RainWise RainLogger Complete System").

7.2.3. Determinar el método más idóneo en función costo-beneficio para la restauración de la población de *Opuntia megasperma* var. *orientalis*, a través del incremento de las tasas de germinación y supervivencia de esta especie en las parcelas permanentes establecidas durante el proyectos

Pregunta de Investigación: ¿Cuál es el método (tecnología ahorradora de agua) más idóneo en relación costo-beneficio para restaurar Española a través de la repoblación con *Opuntia megasperma*? Se ha demostrado que las tecnologías ahorradoras de agua, como Groasis Waterboxx®™, incrementan la supervivencia y la tasa de crecimiento de *Opuntias* en entornos áridos (Tapia et al., 2019). La repoblación de Española con cactus, estará acompañada del desarrollo de diferentes tratamientos de siembra, los cuales fueron descritos en la sección 7.2.1.2. y que se basan en el uso de tecnologías ahorradoras de agua, con el propósito de encontrar los métodos más idóneos, en relación costo-beneficio, para la restauración de la población de *Opuntia*.

Uso de tecnologías ahorradoras de agua

Poniendo en práctica los principios del manejo adaptativo, continuaremos utilizando únicamente las tecnologías que resultan más eficientes de acuerdo a la especie clave sembrada en la isla. Por lo tanto, en Española la siembra se realizará utilizando Groasis Waterboxx® como tecnología ahorradora de agua. Mientras que para los controles se aplicará directamente 20 lt de agua directamente (Faruqi et al., 2018; Hoff, 2014; Jaramillo et al., 2020; Land Life Company, 2015; Peyrusson, 2018; P. I. Tapia et al., 2019). Además, si funciona en laboratorio se utilizará Hidrogel para mejorar la tasa de germinación de semillas.

Análisis de datos

Primero, los datos de supervivencia serán analizados utilizando un análisis de supervivencia básico de Kaplan-Meier para generar estimaciones de la supervivencia a largo plazo de las plántulas bajo los diferentes tratamientos. Esto se complementará con un análisis de regresión logística de la supervivencia de las plantas bajo los diferentes tratamientos. Finalmente, estos resultados se combinarán con un análisis de costo-efectividad para determinar el costo esperado de regenerar opuntias utilizando los diferentes tratamientos. Todos los análisis estadísticos y las visualizaciones con gráficos se los llevará a cabo utilizando la última versión del lenguaje estadístico R (actualmente versión 4.0.3; R Core Team 2017) (Kabacoff, 2011; R Core Team, 2020; Wade, 2000).

Monitoreo y seguimiento

Trimestralmente, usando la aplicación Android desarrollada para el proyecto (link para descarga: http://www.galapagosverde2050.com/gv2050_4.apk) (Menéndez & Jaramillo, 2015) se continuará midiendo el tamaño de cada planta; su condición física a través de la toma de datos fenológicos y la presencia-ausencia de herbivoría, y/o plagas. Además, por cada parcela se tomará fotografías desde cada punto referencial, para comparar su desarrollo a través del tiempo.

Manejo y base de datos de las especies utilizadas en restauración ecológica

La estrategia de manejo y gestión de datos incluye el uso de dos plataformas virtuales. Al manejar las plataformas virtualmente se da la oportunidad de que guardaparques, instituciones educativas, y otros miembros de la comunidad tengan acceso a estas valiosas herramientas. Todos los datos recopilados durante los monitoreos, serán subidos a la plataforma virtual del proyecto

DIRECCIÓN DEL PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS
DIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL

(<http://www.galapagosverde2050.com/admin>). Esta es la plataforma principal, en la que se puede acceder, descargar, y corregir los datos de la matriz general.

Posteriormente, los datos serán transferidos a la plataforma **RestoR** (<https://gv2050.shinyapps.io/GV2050-restoR/>), la cual se encarga de procesar los datos y convertirlos en gráficos simples. Con estos gráficos, se facilita la creación de figuras para reportes, la planificación de actividades de campo, y la creación de diseños experimentales. Se desarrolló además una App general exclusiva para restauración ecológica y manejo adaptativo del Programa Galápagos Verde 2050, junto a una base de datos de todas las especies utilizadas en el componente de restauración ecológica del proyecto, a partir de una matriz general obtenida de la plataforma y App Android del GV2050 (Menéndez & Jaramillo, 2015). Esta plataforma incluirá toda la información recopilada por el proyecto sobre la historia natural, germinación y propagación de cada una de las especies. Además, contendrá información actualizada sobre la disponibilidad de semillas y plántulas de diferentes especies en los viveros utilizados por el proyecto.

7.2.4. Comunicar los resultados de la restauración ecológica de Española, basado en la evidencia obtenida para *O. megasperma* var. *orientalis* en diversos formatos (i.e., paper científico y documento de comunicación).

Usando los datos recolectados durante todo el proceso de restauración en Española, se documentará las acciones de restauración ecológica para comunicar los resultados en dos formatos: paper científico y documento de divulgación, que puede ser utilizado por la DPNG.

8. Resultados Esperados (ajustar resultados a los objetivos como están planteados en la versión revisada)

Establecer un programa que contribuya al inicio y garantice la conservación a largo plazo de *Opuntia megasperma* var. *orientalis* y su ecosistema asociado en la isla Española. Esto incluirá:

- a) Un incremento de al menos el 25% en la población de *Opuntia megasperma* var. *orientalis* en la isla Española (basado en un mínimo de 600 Opuntias plantadas cada año hasta finales del 2025).
- b) Comunicaciones sobre resultados de la restauración ecológica de Española, basado en la evidencia obtenida para *O. megasperma* var. *Orientalis*: paper científico (sometido o publicado) + documento divulgativo/informe para comunicar.
- c) Capacitación a guardaparques y socialización de los resultados.
- d) Un protocolo de monitoreo a largo plazo para registrar los cambios en la biodiversidad como resultado de la restauración de *Opuntia*.

El logro de estos resultados a corto plazo conducirá a una población saludable de *Opuntia megasperma* var. *orientalis* en la isla Española. Además, las otras especies nativas y endémicas, incluida la tortuga gigante (*Chelonoidis hoodensis*) **también se beneficiarán**, debido a la influencia clave de *Opuntia* en todo el ecosistema de la isla Española.

Para garantizar que haya un incremento de al menos el 25% en el tamaño de la población de *Opuntia*, **se utilizará como indicador la supervivencia por año de al menos 100 individuos plantados en cada uno de los tres sitios de estudio en la isla, lo que garantiza que al menos 750 sobrevivan más allá del final de este proyecto.** Los siguientes indicadores permitirán la implementación de un plan de monitoreo adaptativo a largo plazo:

- a) Acumulación regular (trimestral el primer año) de datos sobre la tasa de supervivencia y crecimiento de Opuntias sembradas en el experimento.
- b) Datos de supervivencia y tasa de crecimiento de al menos 1800 Opuntias sembradas para probar qué tecnologías ahorradoras de agua ayudan significativamente a la restauración de *Opuntia*.
- c) Informes anuales sobre la restauración en curso de *Opuntia* que incorporará todos los datos disponibles.

DIRECCIÓN DEL PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS
DIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL

- d) Mayor participación de la Dirección del Parque Nacional Galápagos en el proyecto de restauración de la población de *Opuntia*, al trabajar al menos diez guardaparques en Española y realizar talleres durante todas las visitas a la isla.
- e) Publicación de un artículo de acceso abierto revisado por pares sobre los hallazgos científicos de nuestra investigación sobre restauración.

9. Estrategias de Comunicación

- En todos los viajes de campo a la isla Española, viajaremos con personal adicional de la DPNG para impartir capacitación sobre los protocolos tanto de monitoreo como de restauración de *Opuntia*.
- La visión a largo plazo de este proyecto también se mantendrá y difundirá mediante la comunicación efectiva de los esfuerzos de conservación a los visitantes y lugareños, a través de paneles informativos, carteles y presentaciones orales. En conjunto, involucrando activamente a la Dirección del Parque Nacional Galápagos en nuestro proyecto, no solo asegurará un monitoreo y protección exitosos a largo plazo de los sitios restaurados, sino también una comunicación efectiva de la visión de nuestro proyecto de conservación al público en general.
- Participación en el Congreso Internacional de Biología de la Conservación (ICCB) en 2023.
- Compartiremos el progreso logrado y los resultados recopilados a través de publicaciones de varios formatos: paper científico(s) sometidos o publicados, blogs institucionales, comunicados de prensa institucionales y publicaciones en redes sociales en múltiples medios; así como haciendo que nuestros datos sean de fuente abierta a través de nuestro sitio web y la plataforma en línea existente (www.galapagosverde2050.com)
- Finalmente, la información sobre el proyecto y el trabajo terminado, se comunicará a los visitantes y turistas del parque nacional a través de charlas y presentaciones locales, como las que realiza regularmente el personal de la Fundación Charles Darwin en la biblioteca local, y a los huéspedes y guías naturalistas en barcos de crucero como el Endeavour II National Geographic / Lindblad Expeditions.

10. Distribución espacial y temporal

Para cumplir con los objetivos propuestos y lograr contribuir a responder las preguntas de investigación, trabajaremos en un inicio en un sitio de estudio en la isla Española y posteriormente continuaremos a los dos siguientes (Tabla 1).

Tabla 3. Sitios de estudio en los que se efectuará la investigación en la isla Española.

Isla	Sitio	Longitud	Latitud
Española	Punta Manzanillo	-89.699406	-1.34665
	Las Tunas	-89.6979268	-1.363547338

11. Cronograma

La planificación del proyecto incluye monitorear los sitios de estudio cada 3 - 6 meses para el componente de restauración ecológica. Para toda la planificación de monitoreo y viajes de campo se utilizará la RestorR App del proyecto, la misma que se sincroniza automáticamente desde la matriz general de monitoreos y plataforma (Menéndez & Jaramillo, 2015). Todos los monitoreos se priorizan de acuerdo con gráficos relacionando fecha de monitoreo con isla/sitios de estudio (Figura 4). Se mantiene gráficos de crecimiento por tratamiento, junto al monitoreo y prioridades de atención según los resultados, usualmente los monitoreos de todos los sitios de estudio pertenecientes a la misma isla se realizan durante una sola expedición. El cronograma de trabajo para el 2022 se detalla en la Tabla 4).

DIRECCIÓN DEL PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS
DIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL



Monitoring Calendar - Sites



Figura 4. Calendario de monitoreo de la isla Española en las Tunas.

Tabla 4. Calendario de actividades en el campo y laboratorio en los sitios de estudio de la isla Española.

Descripción	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Recolección de semillas in-situ y cladodios de Opuntias.			1					1				
Selección y germinación de semillas colectadas, en laboratorios de la FCD.			1	1								
Mantenimiento y cuidado de plántulas ex-situ en el laboratorio antes de las siembras para restauración.	1	1	1			1	1	1				
Siembra y establecimiento de plántulas y cladodios de cactus en la isla, en parcelas permanentes y con tecnologías ahorradoras de agua.			1	1				1	1			
Colección de muestras botánicas para incrementar las colecciones del Herbario CDS.			1					1				
Instalación de medidores de precipitación y temperatura que proveerán un mejor registro y mayor comprensión de los efectos de factores climáticos en los sitios de estudio			1			1			1			1
Seguimiento y monitoreo de experimentos en Las Tunas			1			1			1			1
Mantenimiento de cercados de parcelas de restauración permanentes en Las Tunas			1			1			1			1
Mantenimiento de una estructura para coleccionar agua de lluvia en la isla						1						
Colocación de cámaras sensitivas de movimiento en cada sitio de estudio.			1						1			
Supervisión y monitoreo de la especie durante su desarrollo bajo condiciones controladas.		1			1			1			1	

12. Cantidad de colecciones de muestras:

DIRECCIÓN DEL PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS
DIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL

Por la naturaleza y magnitud de los sitios de estudio en la isla Española resulta casi imposible determinar un número exacto de muestras que se colectará. Pues en su mayoría, especialmente las semillas y frutos depende, tanto de la fenología como de las condiciones climáticas. Sin embargo, en la Tabla 4 se sistematiza el tipo de muestras requeridas y una cantidad aproximada, la misma que variará según las necesidades de la DPNG y los resultados preliminares que se vaya obteniendo en cada parcela y sitios de estudio.

Tabla 5. Lista del número estimado y tipo de muestras que se colectará

Tipo de Muestra	Cantidad Estimada	Especie	Tipo de Análisis
Muestras Botánicas en cada sitio de estudio de Española .	200	Varios especímenes para Herbario CDS.	Identificación de especies y colección de referencia.
Invertebrados terrestres en cada isla de estudio Española .	2000	Varios grupos de invertebrados para la colección ICCDRS.	Identificación de especies y colección de referencia.
Semillas de <i>Opuntia</i> en los sitios de estudio de Española .	20000	<i>Opuntia megasperma</i> var. <i>orientalis</i>	Ensayos de viabilidad y germinación y producción de plántulas.
Plántulas y semillas insitu de <i>Opuntia</i> de Española.	10000	<i>Opuntia megasperma</i> var. <i>orientalis</i>	Ensayos de viabilidad y germinación. Producción de plántulas, crecimiento y pre-adaptación en vivero forestal de Santa Cruz
Heces de tortugas gigantes de Española .	2000	<i>Opuntia megasperma</i> var. <i>orientalis</i>	Obtención de semillas
Frutos de cactus del género <i>Opuntia</i> de Española .	6000	<i>Opuntia megasperma</i> var. <i>orientalis</i>	Análisis de viabilidad y germinación de semillas.
Cladodios de <i>Opuntia</i> de Española .	3000	<i>Opuntia megasperma</i> var. <i>orientalis</i>	Análisis de viabilidad y germinación de semillas.
Muestras de suelo en cada isla de estudio en Española .	100	<i>Opuntia megasperma</i> var. <i>orientalis</i>	Análisis de calidad del suelo.

13. Bibliografía

- Atkinson, R., Jaramillo, P., Simbaña, W., Guezou, A., & Coronel, V. (2008). Advances in the conservation of threatened plant species of Galapagos. In *Galapagos Report 2007-2008* (Issue i, pp. 95–102).
- Boada, R. (2005). Insects associated with endangered plants in the Galápagos Islands, Ecuador. *Entomotropica*, 20(2), 77–88.
- Borkent, A. R. T., Brown, B., Adler, P. H., Amorim, D. D. S., Barber, K., Bickel, D., Boucher, S., Brooks, S. E., Burger, J., & Burington, Z. L. (2018). Remarkable fly (Diptera) diversity in a patch of Costa Rican cloud forest: Why inventory is a vital science. *Zootaxa*.
- Campbell, J. W., & Hanula, J. L. (2007). Efficiency of Malaise traps and colored pan traps for collecting flower visiting insects from three forested ecosystems. *Journal of Insect Conservation*, 11(4), 399–408.
- 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.
- Chao, A., Gotelli, N. J., & Hsieh, T. C. (2014). Rarefaction and extrapolation with hill numbers: a framework for sampling and estimation in species diversity studies. *Ecological Monographs*, 84, 45–67.
- Coronel, V. (2002). *Distribución y Reestablecimiento de Opuntia megasperma* var. *orientalis* Howell. (Cactaceae) en Punta Cevallos, Isla Española - Galápagos.
- DPNG-MAE. (2019). *Registro Oficial 257 - Resolución 055: Uso de drones*.
- DPNG. (2008). *Protocolos para viajes de campo y campamentos en las Islas Galápagos*.
- DPNG. (2014). *Plan de Manejo de las Áreas Protegidas de Galápagos para el BUEN VIVIR*.
- Faruqi, S., Wu, A., Brolis, E., Anchondo, A., & Batista, A. (2018). *The business of planting trees: A Growing Investment Opportunity*.
- Gibbs, J. P., Marquez, 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>
- Gotelli, N. J., & Chao, A. (2013). Measuring and estimating species richness, species diversity, and biotic similarity from sampling data. In S. A. Levin (Ed.), *Encyclopedia of biodiversity* (2nd edn. A, pp. 195–211).
- Grant, P. R., & Grant, B. R. (1989). The slow recovery of *Opuntia megasperma* on Española. *Noticias de Galapagos*, 48, 13–15.



DIRECCIÓN DEL PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS
DIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL

- Helsen, P., Verdyck, P., Tye, A., & Dongen, S. V. (2009). *Low levels of genetic differentiation between Opuntia echios varieties on Santa Cruz (Galapagos)*. 1–10. <https://doi.org/10.1007/s00606-008-0064-5>
- Hicks, D. J., & Mauchamp, A. (1999). *Population Structure and Growth Patterns of Opuntia echios var. gigantea along an Elevational Gradient in the Galapagos Islands*.
- Hoff, P. (2014). *Groasis technology: manual de instrucciones de plantación*. 27.
- Hunt, E. R., Doraiswamy, P. C., McMurtrey, J. E., Daughtry, C. S. T., Perry, E. M., & Akhmedov, B. (2012). A visible band index for remote sensing leaf chlorophyll content at the Canopy scale. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2012.07.020>
- Jaramillo, P. (2000). *Plantas amenazadas y acciones de manejo en varias islas del archipiélago* (p. 7).
- Jaramillo, P. (2017). *Galapagos Verde 2050 is Starting the Process of Ecological Restoration on Española Island*. [Online Blog] Darwinfoundation.Org. Available at: <https://www.darwinfoundation.org/en/blog-articles/138-galapagos-verde-2050-is-starting-the-process-of-ecological-restoration-on-espanola-island> [Accessed 08 Dec. 2021].
- Jaramillo, P., Lorenz, S., Ortiz, G., Cueva, P., Jiménez, E., Ortiz, J., Rueda, D., Freire, M., & Gibbs, J. (2015). Galápagos Verde 2050 : Una oportunidad para la restauración de ecosistemas degradados y el fomento de una agricultura sostenible en el archipiélago. *Informe Galapagos 2013-2014*, 132–143.
- Jaramillo, P., Tapia, W., & Gibbs, J. P. (2017). *Plan de Acción para la Restauración Ecológica de las Islas Baltra y Plaza Sur*.
- Jaramillo, P., Tapia, W., Negoita, L., Plunkett, E., Guerrero, M., Mayorga, P., & Gibbs, J. P. (2020). *El Proyecto Galápagos Verde 2050 (Volumen 1)*.
- Jaramillo, P., Tapia, W., & Tye, A. (2018). *Opuntia megasperma var. orientalis* (pp. 57–59).
- Jaramillo, P., Trigo, M., Ramírez, E., & Mauchamp, A. (2010). Insect pollinators of *Jasminocereus thouarsii*, an endemic cactus of the Galapagos Islands. *Galapagos Research*, 67, 21–25.
- Kabacoff, R. I. (2011). *R IN ACTION: Data analysis and graphics with R*.
- Land Life Company. (2015). *Benefits of the COCOON technology*. Available at <https://landlifecompany.com>.
- León-Yáñez, S., Valencia, R., Pitman, N., Endara, L., Ulloa, C. U., & Navarrete, H. (2011). Libro rojo de las plantas endémicas del Ecuador, 2ª edición. Publicaciones del Herbario QCA, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito. In *Ministerio del Ambiente (M 01)(BP 004). Bosque Protector “Daule-Peripa” Recuperado de <http://chmecuador.ambiente.gob.ec/userfiles/37/file/Bosques%20Protectores/BP%20CUENC A%20DAULE%20PERIPA.pdf> Ministerio del Ambiente (2015). Reforma del Libro VI*. https://ddrn.dk/wp-content/uploads/2018/01/LIBRO_ROJO_de_las_plantas_endemicas_del-1.pdf
- Mammola, S., Giachino, P. M., Piano, E., Jones, A., Barberis, M., Badino, G., & Isaia, M. (2016). Ecology and sampling techniques of an understudied subterranean habitat: the Milieu Souterrain Superficiel (MSS). *The Science of Nature*, 103(11), 1–24.
- Marquez, 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.
- McKinnon, T., & Hoff, P. (2017). Comparing RGB-Based Vegetation Indices With NDVI For Drone Based Agricultural Sensing. *Agribotix*.
- Meier, R. E. (1994). Coexisting patterns and foraging behavior of introduced and native ants (Hymenoptera Formicidae) in the Galapagos Islands (Ecuador). In *Exotic ants* (pp. 44–62). CRC Press.
- Menéndez, Y., & Jaramillo, P. (2015). *Manual de usuario: Plataforma Virtual de Administración del Proyecto Galápagos Verde 2050*.
- 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>
- Peyrusson, F. (2018). *Effect of Hydrogel on the Plants Growth*.
- R Core Team. (2020). *R a language and environment for statistical computing*. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. Available at <https://www.R-project.org/>.
- Tapia, P. I., Negoita, L., Gibbs, J. P., & Jaramillo, P. (2019). Effectiveness of water-saving technologies during early stages of restoration of endemic *Opuntia* cacti in the Galápagos Islands, Ecuador. *PeerJ*, 2019(12), 1–19. <https://doi.org/10.7717/peerj.8156>
- 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*, 1–10. <https://doi.org/10.1111/rec.13476>
- Tye, A. (2006). Restoration of the vegetation of the Dry Zone in Galapagos. In *Dry Forest Biodiversity and Conservation 2: Propagation and Conservation Strategies* (Vol. 9, Issue February).
- Tye, Alan. (2007). *The status of the endemic flora of Galapagos: the number of threatened species is increasing*. 97–103.
- Wade, P. R. (2000). Bayesian methods in conservation biology. *Conservation Biology*, 14(5), 1308–1316. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2000.99415.x>
- Wheeler, W. M. (1924). The formicidae of the Harrison Williams Galapagos expedition. *Zoologica*, 5(10), 101–122.
- Williams, D. F. (2021). *Exotic ants: biology, impact, and control of introduced species*. CRC Press.

DIRECCIÓN DEL PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS
DIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL

14. Coordinación y firma de Responsabilidad

La presente propuesta ha sido trabajada en base a las prioridades establecidas en el Plan de Manejo de las Áreas Protegidas de Galápagos para el Buen Vivir y coordinada con el Señor Christian Sevilla, responsable de Proceso Conservación y Restauración de Ecosistemas Insulares de la DPNG. Adicionalmente, las actividades a ejecutarse durante el 2022, serán coordinadas con nuestros colaboradores externos y con los asesores científicos (externos) del proyecto.

	 <p>Firmado electrónicamente por: CHRISTIAN RAUL SEVILLA PAREDES</p>
<p>Patricia Jaramillo Díaz Investigadora Senior y Líder del proyecto GV2050</p>	<p>Christian Sevilla Responsable del Proceso de Conservación y Restauración de Ecosistemas Insulares</p>

Nota: Para mayores detalles favor revisar el “Manual de Procedimientos para Científicos Visitantes en Galápagos y el Protocolo para Viajes de Campo y Campamentos en Galápagos” publicados por la Dirección del Parque Nacional de Galápagos y disponible en: <http://www.galapagos.gob.ec>