

DIRECCIÓN DEL PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS
DIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL

1. Título del Proyecto: Programa Galápagos Verde 2050

Restauración ecológica de la isla Baltra: desarrollo de un método de restauración de ecosistemas áridos aplicable a gran escala.

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 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: Por contratar

- Asistente de investigación 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 John 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 Nuñez: diego.nunez@fcdarwin.org.ec 1711455673 Ecuatoriano, Puerto Ayora-Isla Santa Cruz.

3.1 Nombre de los investigadores adicionales

DIRECCIÓN DEL PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS
DIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL

| Nombre | Institución | Nacionalidad | Pasaporte/Cédula de identidad | Correo electrónico |
|-------------------------|--|----------------|-------------------------------|--|
| Jorge Rosillo | Aeropuerto Ecológico de Galápagos (ECOGAL). Con Convenio | Ecuatoriano | 1718646165 | irosillo@ecogal.com.ec |
| Alberto Vélez | Agencia de Bioseguridad para Galápagos (ABG) | Ecuatoriano | 2000066924 | alberto.velez@abgalapagos.gob.ec |
| Ronald Azuero | Agencia de Bioseguridad para Galápagos (ABG) | Ecuatoriano | 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 | Ecuatoriano | 1713554044 | victor.rueda.ayala@nibio.no |
| Luka Negoita | Consultor, The grant ecology | Estadounidense | 550607307 | lukanegoita@gmail.com |
| Christian Sevilla | DPNG | Ecuatoriano | 914313275 | csevilla@galapagos.gob.ec |
| Danny Rueda | DPNG | Ecuatoriano | 912776887 | drueda@galapagos.gob.ec |
| Diego Quito | Escuela Politécnica del Litoral ESPOL | Ecuatoriano | 103578761 | dquito@epol.edu.ec |
| Daniel Sherman | Galápagos Conservancy | Estadounidense | 478243745 | dansherman23@gmail.com |
| Washington Tapia | Galápagos Conservancy | Ecuatoriano | 1001506078 | wtapia@galapagos.org |
| Andrés Cruz | Lindblad Expeditions-National Geographic / Galapagos Workshop. | Ecuatoriano | 2000074563 | cruzandres95@gmail.com |
| Joshua Vela Fonseca | Lindblad Expeditions-National Geographic / Galapagos Workshop. | Ecuatoriano | 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 | Ecuatoriano | 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 | jgibbs@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., 2020; Jaramillo, Lorenz, Ortiz, Cueva, Jiménez, Ortiz, Rueda, Freire, & Gibbs, 2015; Negoita et al., 2021; Tapia et al., 2019), con el propósito de contribuir al proceso de restauración ecológica de la isla Baltra evaluando la efectividad y costo de las tecnologías ahorradoras de agua, materiales, personal, transporte para la recuperación

DIRECCIÓN DEL PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS

DIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL

de esta isla degradada y para contribuir al desarrollo de un modelo de conservación de ecosistemas áridos.

4.1. Restauración ecológica de la isla Baltra utilizando a Seymour Norte como ecosistema de referencia, para guiar el estándar ecológico que se espera alcanzar, como resultado del proceso de restauración ecológica.

4.1.1. Antecedentes en la isla Baltra

Como resultado del largo e intensivo uso por **actividades humanas**, principalmente por la presencia de la **base militar estadounidense** durante la Segunda Guerra Mundial, la isla Baltra requiere una intervención sustancial para restaurar y superar la grave degradación que se ha producido en sus ecosistemas. Actualmente tenemos un conjunto de datos de **referencia** de la abundancia de árboles y cactus de la isla Seymour Norte, que puede permitirnos generar el objetivo de restauración más preciso hasta la fecha (Gibbs, 2016). Aunque Seymour Norte tampoco está completamente libre de impactos humanos, fue mucho menos impactado que Baltra. Además, Seymour tiene actualmente una próspera población de iguanas terrestres de Galápagos, lo que lo convierte en un ecosistema más similar para hacer referencia a Baltra, **donde las iguanas terrestres son nativas** (Gibbs, 2013, 2016; Jaramillo et al., 2017).

Aunque **ya tenemos suficiente información** del proceso de crecimiento y sobrevivencia de las especies sembradas en la isla Baltra (Cabrera et al., 2020; Gibbs, 2016; Jaramillo et al., 2017, 2020), la información sobre la diversidad vegetal del ecosistema de referencia nos permitirá enfocarnos en las especies comunes a las dos islas (Jaramillo in prep. 2021). Estos datos de crecimiento de varias especies y diferentes tecnologías ahorradoras de agua, son una contribución extremadamente valiosa para la fase **preliminar inicial** del proyecto, porque ahora entendemos mejor cómo ajustar nuestros métodos y recopilación de datos para proporcionar los resultados más efectivos para restaurar la totalidad de la isla. **Primero**, ahora sabemos que hay varias **especies clave** que debemos estudiar para aprender cómo germinar, cultivar y plantar mejor estas especies de manera más rentable. **Segundo**, debemos **adaptar nuestros protocolos** a los que utilizaría la DPNG para que nuestros resultados sean directamente aplicables cuando se destinen a gran escala por el Parque Nacional u otras organizaciones. **Tercero**, debemos controlar más factores en **costos**, tiempo de siembra y la equidad en el tamaño de muestra por tecnologías ahorradoras e agua para obtener resultados estadísticamente más poderosos y para esto, debemos recopilar datos sobre los costos de cada expedición de siembra, idealmente separando la siembra y el monitoreo para evaluar claramente los costos precisos a pesar de conocer ahora con certeza el costo y efectividad de las tecnologías en las islas de estudio pero debemos proyectarlo ahora a escalas espaciales más amplias a partir de los estudios generados desde el proyecto a la actualidad (Jaramillo et al., 2017; Negoita et al., 2021; Tapia et al., 2019).

5. Objetivos

Objetivo general:

- Contribuir a la conservación de ecosistemas degradados a través de un método de restauración de ecosistemas áridos aplicable a gran escala en sitios con diferentes usos.

Objetivos específicos:

- **Evaluar** la estructura ecosistémica de Seymour Norte como ecosistemas de referencia, para **guiar** las condiciones ecológicas que se espera alcanzar en la isla Baltra, como resultado del proceso de restauración ecológica.
- **Evaluar la eficiencia** de las tecnologías ahorradoras de agua en cinco sitios de estudio en Baltra como mecanismo para la restauración a gran escala y un nuevo diseño experimental.
- **Evaluar la comunidad de plantas leñosas** estableciendo parcelas en áreas naturales no impactadas de la isla Baltra para comparar con la comunidad de referencia Seymour Norte junto a características edáficas de las dos islas.
- **Consolidar un plan de acción** para la restauración ecológica de ecosistemas áridos en áreas extensas.

DIRECCIÓN DEL PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS
DIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL

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

a. Diseño y preguntas de investigación:

Para la restauración ecológica de la isla Baltra y su ecosistema de referencia, responderemos a varias preguntas de investigación junto a un diseño experimental establecido en tres partes: **1) Estudio del ecosistema de referencia Seymour Norte:** ¿Qué características ecológicas de la isla Seymour Norte pueden ser utilizadas como referencia para las áreas naturales que aún existen en la isla Baltra? **2) Eficiencia tecnología:** ¿Qué tecnologías ahorradoras de agua son más rentables para las 15 especies de nuestro ecosistema de referencia de Seymour Norte? **3) Evaluación de la comunidad de plantas leñosas para su uso en restauración ecológica:** ¿Cómo se asemejan plantas leñosas de Seymour con Baltra?; **4) Plan de Acción a gran escala** - Cómo diseñar un Plan de acción a gran escala para restauración comparando los resultados de experimentos de este proyecto con los resultados del trabajo de restauración realizado por los guardaparques.

b. Metodología:

DIRECCIÓN DEL PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS
DIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL

Estructura ecosistémica de Seymour Norte

7.2.1. Selección de especies clave para los ecosistemas

Las especies utilizadas en el componente de restauración ecológica serán seleccionadas con base en el estado de amenaza que enfrentan y/o por su importancia en el funcionamiento de los ecosistemas de estudio. Por lo que la cantidad y lista de especies variará de acuerdo con el sitio de estudio y/o isla. Hasta ahora se han considerado 12 especies clave para el ecosistema de Baltra (Jaramillo et al., 2017; Tapia et al., 2019). Sin embargo, esto variaría una vez culminado el análisis del ecosistema de referencia.

La restauración exitosa de un ecosistema, requiere saber lo que significa alcanzar un ecosistema “restaurado”; esto es fundamental para delinear objetivos y crear un plan de acción pragmático. Estos objetivos de restauración a menudo se basan en datos históricos del ecosistema antes de la degradación, pero si estos datos no están disponibles, se pueden utilizar los hábitats cercanos o las islas que carecen del mismo nivel de degradación. En este estudio, usamos la isla Seymour Norte relativamente sin degradación como un ecosistema de referencia para generar objetivos de restauración para la isla Baltra.

7.2.2. Usando ecosistema de referencia:

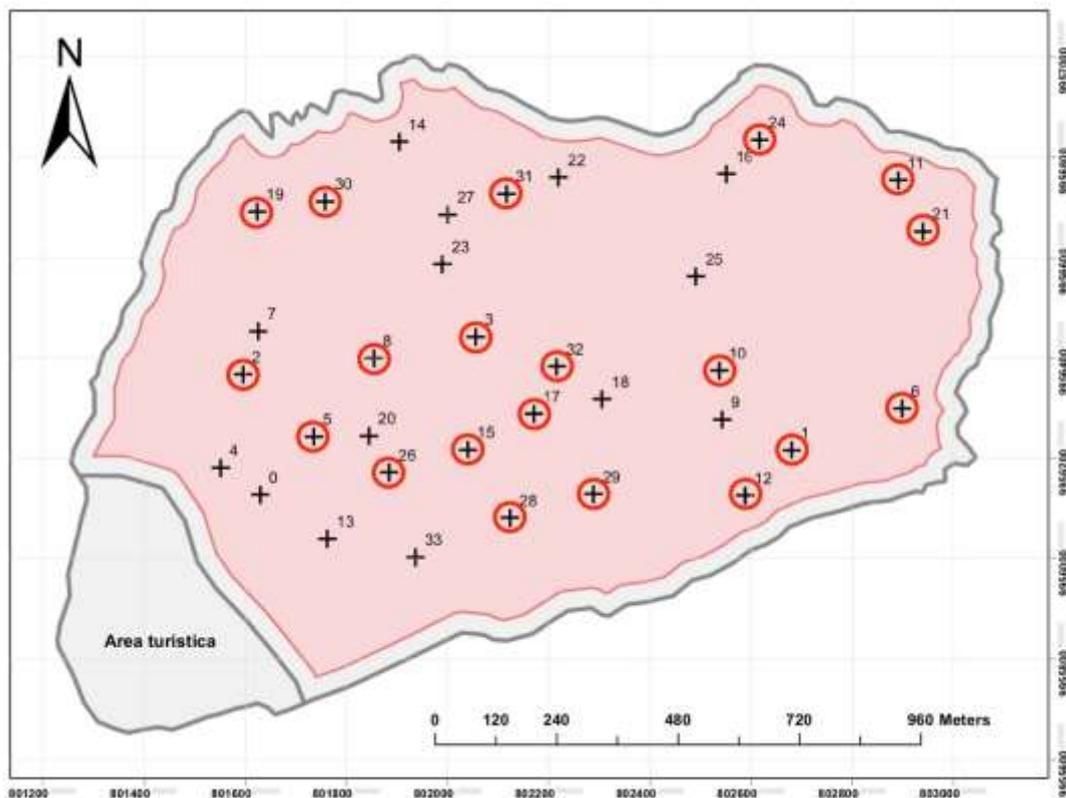


Figura 1. Parcelas de estudio distribuidas al azar en toda la isla Seymour Norte.

La isla **Seymour Norte** es un referente ideal para ser utilizado como ecosistema de referencia de Baltra. Al estar situadas la una a lado de la otra, las dos islas comparten muchas similitudes, con la excepción de que Seymour Norte ha sufrido un menor impacto humano (DPNG, n.d.; Gibbs, 2016). Esto se evidencia claramente en la densidad y diversidad más alta de plantas y aves marinas que anidan en Seymour Norte en comparación con Baltra (Hamann, 1981). Seymour Norte se encuentra a tan solo 1.46 km de Baltra (Snell et al., 1996). Ambas islas son geológicamente similares y probablemente eran idénticas en su composición de vegetación original (Hamann, 1981). Por esta razón, Seymour Norte

DIRECCIÓN DEL PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS

DIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL

proporciona un sitio de referencia ideal para la restauración ecológica de Baltra. Según un estudio de la vegetación en Seymour Norte, realizado en 1989, se reporta información sobre la iguana terrestre (*Conolophus subcristatus*) que se **extinguió en Baltra en 1940**, pero fue introducida en Seymour Norte unos años antes para preservar su población, al ser esta isla de un ambiente y ecosistema similar (Izurieta, 1991). Sin embargo, actualmente hay una sobrepoblación de iguanas terrestres y su presencia ha alterado el equilibrio ecosistémico, afectando a la composición vegetal nativa en la isla (Kumar et al., 2020).

Seymour Norte, además de ser geológicamente similar a Baltra, tiene una composición vegetal probablemente idéntica a la que originalmente debió existir en Baltra (Gibbs, 2016; Izurieta, 1991). Por lo tanto, se convierte en un sitio de referencia ideal para determinar los objetivos para el proceso de restauración ecológica de toda la superficie restaurable de Baltra en consecuencia. La **metodología** utilizada en **agosto del 2021** (Jaramillo in prep 2021) en donde se estudio las especies dominantes y leñosas de la isla, será la **misma para el 2022** pero entre marzo y abril, cuando la productividad de la vegetación alcance su punto máximo, establecimiento de manera aleatoria en **25 ubicaciones** de la isla, de parcelas de 400 m² (**20 m x 20 m**) (Figura 1). En cada parcela, se registrará información sobre la **vegetación presente y variables ambientales**. Además, se llevará a cabo la colección de muestras botánicas que no se registraron durante la primera expedición, especialmente **hongos y especies que antes no tenían flores**. De esta manera se contribuye a la colección de referencia del Herbario CDS (Jaramillo 2021 in prep.) Hasta ahora, los datos recolectados nos permiten generar estimaciones sobre la densidad de cada especie por hectárea y el efecto de factores ambientales en la variación de esta densidad. Se analizarán todas las parcelas en las dos estaciones del año para estimar la demografía y reproducción de cada especie, lo que es esencial para estimar el tamaño mínimo de población viable requerido en el proceso de restauración ecológica de Baltra. Durante la siguiente expedición se realizarán registros y colectas de **excrementos de iguanas** para conocer la dispersión de las semillas y la dieta de este herbívoro en la isla, esto debido a registros de dispersión y observaciones durante otras expediciones con la presencia de iguanas terrestres desde hace más de 30 años hasta la actualidad (Cabrera et al., 2020; Heleno et al., 2011; Izurieta, 1991; Ortiz-Catedral, 2018; Traveset et al., 2016; Vargas et al., 2014b).

Gracias al primer análisis de datos conocemos la densidad de nueve especies de árboles incluyendo cactus en la isla Seymour Norte, nos indica la abundancia relativa de esas especies y como deberían sembrarse en la isla Baltra (Figura 2). Sin embargo, debido a que las especies de Seymour no son necesariamente las mismas que las registradas en Baltra, necesitamos adaptar esos datos a las especies clave con las que ya estamos trabajando. Para hacer eso, las especies en Seymour se agruparon en tipos funcionales de plantas para crear la densidad relativa de esos grupos. Afortunadamente, las especies más abundantes en Seymour Norte también estuvieron presentes en Baltra, por lo que la abundancia de esas especies se reflejó desde Seymour hasta Baltra sin agrupaciones funcionales (Figura 3).

Evaluación de eficiencia de tecnologías ahorradoras de agua.

En el pasado, el proyecto se enfocó en **entender** los efectos de diferentes tecnologías ahorradoras de agua al nivel de especies en algunas islas. Se sembraron especies en peligro de extinción y se observó cómo las tecnologías ahorradoras de agua **incrementaban su crecimiento y supervivencia**. Se encontraron resultados positivos por el uso de tecnologías ahorradoras de agua en especies clave para restauración como *Opuntia* sp. (Negoita et al., 2021; Tapia et al., 2019). Actualmente, con estos datos y el beneficio o no de ciertas tecnologías & especies de estudio, nos permite ahora hacer la **transición** de una evaluación completa al nivel de especies a una evaluación al nivel de **ecosistemas y/o islas**. Este tipo de evaluación nos ayudará a determinar el tamaño poblacional adecuado para la restauración ecológica de Baltra. Por lo tanto, ahora que conocemos cuales son las tecnologías ahorradoras de agua más efectivas, podemos estimar cuantas plantas serán **necesarias** para restaurar Baltra y al mismo tiempo evaluaremos con un **nuevo diseño experimental** la efectividad en los sitios de estudio de la fase experimental.

DIRECCIÓN DEL PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS
DIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL

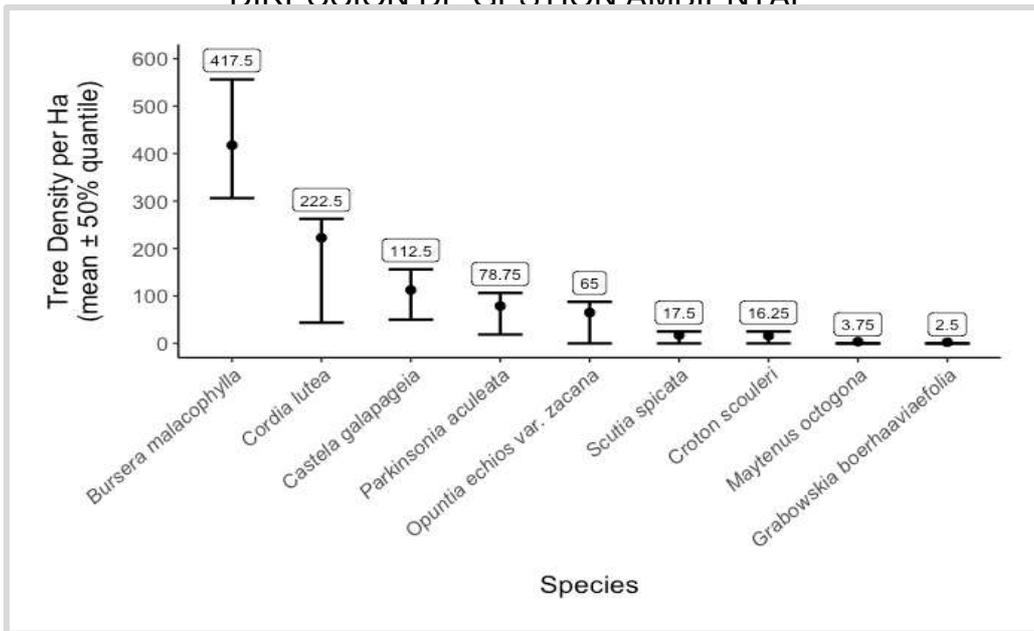


Figura 2. Densidad de todas las especies de árboles y cactus encontradas en 20 parcelas de 400m² en la isla Seymour Norte, abril de 2021.

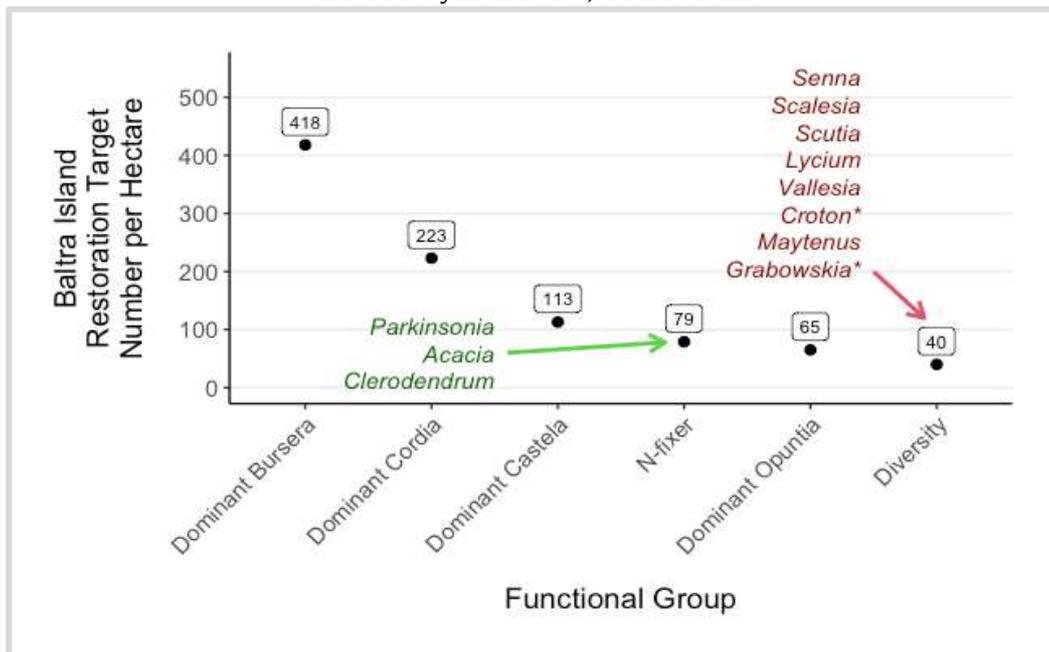


Figura 3. Objetivo de restauración para la isla Baltra basado en agrupaciones funcionales donde las especies no coincidían entre las dos islas (Jaramillo in prep 2021). * *Grabowskia* y *Croton* no se registraron oficialmente como presentes en la isla Baltra hasta noviembre del 2021 (Jaramillo et al., 2021).

Caracterización de comunidad de plantas leñosas en la isla Seymour Norte

Además de evaluar la densidad y composición de la vegetación en Seymour Norte, se realizará un inventario completo de la vegetación terrestre. Este tipo de inventario aporta información sobre la diversidad biológica de un área. La recolección de especímenes y su posterior identificación y archivo en el herbario, permitirán tener también registros físicos de las especies que observadas en un lugar de estudios. Estas muestras físicas sirven para estudios biogeográficos, filogenéticos, fenológicos, taxonómicos y aportan hacia proyectos de conservación de la biodiversidad. El objetivo de la recolección en Seymour Norte nos permitirá obtener una línea base de la biodiversidad vegetal de la isla, y tener registros físicos de especies de plantas en un lugar y momento específico para el herbario (CDS) de la Estación Científica Charles Darwin y futuros proyectos científicos.

DIRECCIÓN DEL PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS DIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL

Consolidar el Plan de Acción para la restauración de ecosistemas áridos en áreas extensas

Con el fin de alcanzar una restauración ecológica exitosa en la isla Baltra, se **trabaja más allá de las especies clave descritas en el Plan de Acción de Baltra** (Jaramillo et al., 2017). La primera fase del proyecto nos ha permitido generar **información valiosa** sobre la eficiencia de las **tecnologías ahorradoras de agua** en la supervivencia y crecimiento de las plantas nativas y endémicas de Baltra (Negoita et al., 2021; Tapia et al., 2019), cumpliendo así **ciertos objetivos del Plan de Acción** para la restauración de Baltra. Complementariamente, el proyecto se alinea a los **ocho principios** de restauración ecológica descritos **por (Gann et al., 2019)** lo que nos permite continuar el proceso de restauración para Baltra basado en la evaluación de un ecosistema de referencia (DPNG, 2014; Gibbs, 2016), lo cual nos permite planear y comunicar una **visión compartida** de las metas del proyecto. Adicionalmente, evaluaremos la recuperación del ecosistema en función de metas y objetivos claros, utilizando **indicadores medibles**, siendo este otro principio básico de la restauración ecológica (Jaramillo in prep. 2022). Es por esto, que el **presente estudio propone evaluar** la vegetación de la isla **Seymour Norte** para determinar las especies y el número de plantas por especie necesarias para restaurar la isla Baltra y **generaremos un Plan de Acción** para la restauración ecológica de islas remotas.

7.2.3. Análisis de datos

En **ambas expediciones** se unificará los datos para analizar la cobertura vegetal relativa de cada especie dentro de las parcelas, utilizando el **método de clases de cobertura de Braun-Blanquet** (Damgaard, 2014). Las muestras de suelo obtenidas de las parcelas de Seymour Norte y Baltra, serán enviadas para análisis de laboratorio de la textura, N, P y K orgánico y disponible, así como salinidad, Ca y Mg. La población mínima viable para la **regeneración** de *Opuntia* spp. será calculada en base a estimaciones de **reproducción, demografía, y clases de edad de esta especie**.

7.2.4. Diseño para la fase experimental:

Para implementar estos objetivos de restauración, el primer paso es realizar un estudio completo **sobre la rentabilidad** de restaurar cada especie utilizando tecnologías de ahorro de agua. Este estudio es similar a lo que se hizo **anteriormente en la isla de Baltra** (y en otros sitios de restauración ecológica con GV2050), pero con diferentes variaciones importantes:

- 1) Todos los tratamientos recibirán cantidades **iguales de agua** en el momento de la siembra. Esto es importante para garantizar que podamos medir con precisión el **efecto de las tecnologías ahorradoras de agua** y separarlo del efecto de, simplemente agregar más agua cuando hay sequía. Toda el agua se medirá utilizando baldes previamente marcados para garantizar que se utilice la misma cantidad de agua en cada tratamiento.
- 2) Las plantas sembradas **no recibirán más agua ni atención física después de la siembra** que no sean las medidas de seguimiento. Esto es importante para garantizar que nuestros resultados coincidan con los protocolos que probablemente utilizará la DPNG. Por ejemplo, es muy poco probable que el Parque Nacional tenga los recursos para visitar y limpiar todas las tecnologías que ahorran agua o agregar agua después de la siembra. Por esa razón, registraremos datos utilizando el mismo protocolo. Esto incluye no limpiar o 'arreglar' las cajas de agua Groasis si las piezas se aflojan, etc. La única excepción será cuando hay un agujero en alguna tecnología y esto represente una posible amenaza para las aves u otros animales nativos o endémicos, en cuyo caso se puede arreglar (por ejemplo, si la cubierta o tapas están abiertas). Se conoce que las tecnologías de ahorro de agua son valiosas y rentables porque pueden colocarse y "olvidarse" hasta que llega el momento de eliminarlas (como es el caso del Groasis Waterboxx) (Growboxx, 2020; Hoff, 2014; Jaramillo et al., 2020). El cuidado y mantenimiento regulares no siempre son factibles en el caso de trabajos de restauración remota a gran escala, por lo que nuestros resultados deben ser directamente aplicables a esos objetivos finales.
- 3) Se registrarán varios datos adicionales (además del monitoreo normal) durante el monitoreo:
 - a. **Registro del estado de la tecnología:** ¿la tapa todavía está puesta, hay partes sueltas o faltantes? Esto es muy importante para registrar y comprender la efectividad y funcionalidad a largo plazo (y la posible contaminación de basura plástica) de las tecnologías.

DIRECCIÓN DEL PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS DIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL

- b. Durante cada expedición y siembras, se registrará todos los costos por categoría, número de días/horas y número de personal de campo con roles. Esto es fundamental para obtener una estimación de costos realista y preciso para escalar los esfuerzos de restauración más allá de nuestro trabajo. Al registrar estos datos en detalle por cada expedición, podemos separar y eliminar mejor el tiempo y los recursos necesarios para nuestro monitoreo (que no se incluyen cuando se implementa la restauración).
- c. Se debe registrar la fecha en la que se extrae Groasis Waterboxx de cada planta individual. Esto es esencial para proporcionar un cronograma sugerido para cada especie en la isla Baltra. Se incluirá dentro del campo observaciones en la App GV2050 siguiendo la metodología digital de datos (Menéndez & Jaramillo, 2015).
- d. Se registrará la edad de cada plántula el momento de la siembra en caso de reportar algún efecto de la edad de la plántula en la supervivencia posterior. Las plántulas serán etiquetadas antes de llevarlas al campo y luego se agrega su edad a la hoja de datos cuando se realiza el monitoreo inicial.
- 4) Todas las siembras se estratificarán al azar con un diseño de tratamiento equilibrado dentro de cada sitio. En otras palabras, todas las plantaciones se ubican al azar con respecto al tratamiento y las especies, y se mantiene un número equilibrado de tratamientos dentro de cada sitio (por ejemplo, un sitio no tiene más controles que otro sitio). Las ubicaciones aleatorias se ejecutarán etiquetando previamente los banderines con las especies, el tratamiento y se colocarán al azar dentro de un sitio. Se puede garantizar un diseño equilibrado para cada sitio al etiquetar las banderas antes de colocarlas. Del mismo modo, es importante que los tratamientos y las especies se siembren en una progresión aleatoria. Por ejemplo, no sembrar los controles, Groasis o una determinada especie en días separados. Hay varias razones para esto, pero, por ejemplo, si el trabajo finaliza antes de tiempo, la siembra experimental seguirá estando más o menos equilibrada. También asegurará que ciertas especies o tratamientos no reciban un trato preferencial subconsciente.
- 5) Las siembras seguirán el diseño experimental general para los tamaños de muestra, pero también seguirán las pautas para los tamaños mínimos de muestra requeridos para cada expedición de plantación individual. Esto es importante para garantizar resultados fiables. Por ejemplo, es importante sembrar un mínimo de seis plantas con cada tratamiento en una expedición de siembra que sembrar solo una o dos plantas (Tablas 1 y 2).
- 6) El experimento se dividirá en etapas: **la etapa uno** se considerará completa una vez que todas las especies se hayan sembrado con estos protocolos y alcancen los tamaños de muestra mínimos requeridos. **La etapa dos** se completará únicamente cuando los resultados iniciales se puedan analizar una vez que hayan pasado dos años desde que se completó la etapa uno. **La etapa tres** se completará una vez que han pasado 10 años desde que se completó la etapa uno o haya pasado varios años desde que se eliminaron todos los Groasis Waterboxx de los sobrevivientes.
- 7) Las plantaciones para este experimento se monitorearán cada cuatro meses hasta que se complete la etapa dos, y luego cada seis meses a partir de entonces (dos veces al año). Esto será importante para adquirir datos suficientes.
- 8) Al asignar recursos y tiempo para germinar y cultivar plántulas para trasplantar, se debe dar prioridad primero a las especies y grupos funcionales más abundantes (Figura 2, Tabla 1). La razón de esto es que esas especies o grupos tendrán los mayores costos al escalar la restauración, ya que son más abundantes y esas especies son una prioridad para la evaluación.
- 9) No todos los tratamientos se utilizan con todas las especies en este diseño en los casos en que los resultados existentes sugieren fuertemente que esas tecnologías probablemente no proporcionarán ninguna mejora o valor. Por ejemplo, el hidrogel se excluyó de la mayoría de las especies debido a su efecto negativo general.
- 10) Los resultados hasta ahora sugieren que la mejor supervivencia se ha logrado sembrando entre los meses de junio y octubre. Se deben fomentar las expediciones de siembra durante este período, pero los resultados son preliminares y esta no es una regla estricta.
- 11) Una vez que se alcanzan los tamaños de muestra generales para cada especie, no se requieren más recursos para sembrar o germinar más de esas especies. Una vez que esto ocurra asignaremos nuestro tiempo y recursos limitados para asegurar un tamaño de muestra completo de todas las especies en este experimento en lugar de sembrar individuos adicionales de una especie para la que ya tenemos datos suficientes. En los casos en los que ya tenemos demasiadas plántulas de una especie en particular, estableceremos colaboraciones con DPNG y otras organizaciones presentes en la isla para sembrar nuestras plántulas adicionales utilizando nuestros mejores hallazgos actuales. De todos modos, esto será necesario más adelante, por lo que comenzaremos con estas

DIRECCIÓN DEL PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS

DIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL

colaboraciones ahora para que podamos tener suficientes recursos para el componente científico del trabajo.

Tabla 1. Diseño experimental general para evaluar tecnologías de ahorro de agua para la restauración de la isla Baltra.

| Especies | Control | Hidrogel | Groasis | Groasis + Hidrogel | Total | Grupo Funcional |
|---------------------|---------|----------|---------|--------------------|-------|-----------------|
| <i>Bursera</i> | 50 | 50 | 50 | 50 | 200 | dominante |
| <i>Cordia</i> | 50 | 50 | 50 | 50 | 200 | dominante |
| <i>Castela</i> | 50 | 0 | 50 | 0 | 100 | dominante |
| <i>Opuntia</i> | 50 | 0 | 50 | 0 | 100 | dominante |
| <i>Parkinsonia</i> | 50 | 0 | 50 | 0 | 100 | n-fixer |
| <i>Acacia</i> | 50 | 50 | 50 | 50 | 200 | n-fixer |
| <i>Clerodendrum</i> | 50 | 50 | 50 | 50 | 200 | n-fixer |
| <i>Senna</i> | 50 | 0 | 50 | 0 | 100 | diversity |
| <i>Scalesia</i> | 50 | 50 | 50 | 50 | 200 | diversity |
| <i>Scutia</i> | 50 | 50 | 50 | 50 | 200 | diversity |
| <i>Lycium</i> | 50 | 50 | 50 | 50 | 200 | diversity |
| <i>Croton</i> | 50 | 50 | 50 | 50 | 200 | diversity |
| <i>Maytenus</i> | 50 | 50 | 50 | 50 | 200 | diversity |
| <i>Grabowskia</i> | 50 | 50 | 50 | 50 | 200 | diversity |
| <i>Vallesia</i> | 50 | 0 | 50 | 0 | 100 | diversity |

Tabla 2. Plantilla de diseño experimental mínima requerida para cada sitio durante una expedición de siembra. Se tomará en cuenta que, si una especie no requiere una tecnología, entonces esas réplicas pueden omitirse.

| | Sitio | Control | Hidrogel | Groasis | Groasis + Hidrogel | Total |
|------------------|----------------|---------|----------|---------|--------------------|-------|
| <i>Especie 1</i> | <i>Sitio 1</i> | 6 | 6 | 6 | 6 | 24 |
| <i>Especie 2</i> | <i>Sitio 1</i> | 6 | NA | 6 | 6 | 18 |
| <i>Etc...</i> | <i>Etc...</i> | 6 | 6 | 6 | 6 | 24 |

** Mínimo 6 plantas por especie, por tecnología, por sitio, en un diseño balanceado durante cada expedición de siembra.*

Ejemplo de un diseño experimental:

| | Sitio | Control | Hidrogel | Groasis | Groasis + Hidrogel | Total |
|--------------------|--------------------|---------|----------|---------|--------------------|-------|
| <i>Acacia</i> | <i>Casa Ojo</i> | 10 | 10 | 10 | 10 | 40 |
| <i>Parkinsonia</i> | <i>Casa Ojo</i> | 15 | — | 15 | — | 30 |
| <i>Acacia</i> | <i>Casa Piedra</i> | 20 | 20 | 20 | 20 | 80 |

7.2.5. Colección de excrementos, frutos, semillas para la germinación y propagación de especies.

7.2.5.1. Colección de excrementos, frutos, cladodios y semillas

La colecta de semillas para la restauración ecológica de Baltra se hará dependiendo de la fenología de las especies (Heleno et al., 2011; Jaramillo et al., 2017; Vargas et al., 2014a) mientras que la clasificación, secado y transporte se lo realizará aplicando los protocolos ya establecidos por la Dirección del Parque Nacional Galápagos y el proyecto GV2050 para este tipo de trabajos (Anexo 1) (DPNG, 2005, 2008; Jaramillo et al., 2017). La extracción de semillas de todos los frutos colectados se la realizará en la misma isla o sitio de origen. Mientras que, en el caso de *Opuntia*, para asegurar la obtención de semillas viables se colectará además excrementos de iguanas terrestres. De éstos, se seleccionará exclusivamente las semillas de *Opuntia* (Blake et al., 2012; Heleno et al., 2011; Hicks & Mauchamp, 1999; Jaramillo, Lorenz, Ortiz, Cueva, Jiménez, Ortiz, Rueda, Freire, Gibbs, et al., 2015; Traveset et al., 2016).

DIRECCIÓN DEL PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS DIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL

Las semillas serán lavadas con agua dulce, secadas y colocadas en frascos herméticos debidamente esterilizados (DPNG, 2008; Jaramillo et al., 2017). Posteriormente serán trasladadas al laboratorio en fundas biodegradables colocadas en el interior de cajas metálicas fumigadas con insecticidas biodegradables (Jaramillo et al., 2017). Posterior al proceso cuarentenario, las semillas serán limpiadas y luego secadas en la estufa del herbario de la FCD. Una vez hecho esto, serán clasificadas y trasladadas al vivero de la DPNG, donde serán colocadas en camas de germinación con sustrato inerte. Debido a que se trabaja con semillas provenientes de otras islas, durante todo el proceso se aplicará los protocolos para el transporte de muestras establecidos por la Dirección del Parque Nacional Galápagos (DPNG, 2008).

7.2.6. Transporte de plántulas desde Santa Cruz y siembras en otras islas

El transporte de plántulas desde Santa Cruz (invernadero y laboratorio) hasta su isla de origen, 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).

Antes de iniciar la siembra en su hábitat natural, las plántulas serán colocadas bajo sombra para un proceso de pre-adaptación in-situ. En el caso de *Opuntia echios* var. *echios*, y *O. megasperma* var. *orientalis*, 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).

7.2.7. Uso de las tecnologías ahorradoras de agua

Poniendo en práctica los principios del manejo adaptativo, continuaremos utilizando únicamente las tecnologías que resultan mas eficientes de acuerdo a la especie clave sembrada en la isla. Por lo tanto, en Baltra la siembra se realizará utilizando tres tecnologías ahorradoras de agua como tratamientos: Groasis Waterboxx, Cocoon, solo en algunos casos Hidrogel. Mientras que para los controles se aplicará 20 lt de agua directamente sin ninguna tecnología (Faruqi et al., 2018; Hoff, 2014; Jaramillo et al., 2020; Land Life Company, 2015; Peyrusson, 2018; Tapia et al., 2019). En cada sitio de estudio de la isla obtendremos información general del trabajo de campo y avances por tecnologías, por ejemplo lo que se ha realizado durante el 2021.

7.3 Análisis de datos

Todos los análisis estadísticos y las visualizaciones con gráficos se llevarán 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). **El marco jerárquico bayesiano (HB) será nuestro principal método de inferencia.** La naturaleza jerárquica, en profundidad y a gran escala de los datos del GV2050 nos da una flexibilidad y potencia sustanciales con nuestros análisis, lo que nos permitirá construir modelos que representan una variedad de covariables y efectos aleatorios. Parametrizamos todos los modelos HB usando el método Markov Chain Monte Carlo (MCMC) implementado en JAGS (Plummer, 2003), usando el paquete "R2jags" (Su & Yajima, 2015). En todos los casos, utilizamos datos previos planos (no informativos) de modo que no haya sesgo en la interpretación de los posteriores resultantes. Posteriormente, los gráficos se representarán como puntos medianos con barras de error que marcarán sus intervalos de confianza del 95%.

El marco de análisis de HB tiene varias ventajas clave para los enfoques frecuentistas tradicionales: **1)** Nos permite dividir simultáneamente los efectos de todas las variables explicativas y covariables. Esto genera coeficientes del modelo que son fáciles de interpretar y no dependen de su orden en el modelo. **2)** Nos permite tener en cuenta los efectos aleatorios cuando sea apropiado para mantener un tamaño de muestra grande sin pseudo-replicación. Por ejemplo, un modelo que examina la tasa de crecimiento no necesita promediar la tasa de crecimiento dentro de cada individuo. Un efecto aleatorio que identifique a cada individuo explicará la no independencia de esas observaciones, lo que preservará una muestra más amplia de puntos de datos informativos. **3)** Quizás lo más importante, los resultados **proporcionan declaraciones intuitivas sobre la importancia, probabilidad y el efecto relativo de las tecnologías en diferentes entornos.** Este último componente es especialmente crítico en la biología de la conservación, donde los resultados científicos deben llevar a decisiones de manejo

DIRECCIÓN DEL PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS

DIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL

(Wade, 2000). Por ejemplo, podemos presentar y comparar la probabilidad real de que el uso de una tecnología en particular en un hábitat en particular restaure con éxito ese ecosistema.

Hay algunos casos en nuestros análisis en los que un enfoque frecuentista tradicional es importante para comunicar cifras y resultados a una audiencia que prefiere los métodos tradicionales. En esos casos, se implementa un enfoque de modelo mixto generalizado utilizando el paquete "lme4" (Bates et al., 2015). Se utilizan diagramas básicos de caja, línea y dispersión en estos y en todos los casos adicionales de datos o visualizaciones de resultados para referencia, comunicación y materiales educativos.

7.3.1. 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, se tomará fotografías para comparar su desarrollo a través del tiempo.

7.3.2. 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 ganen acceso a estas valiosas herramientas. Todos los datos recopilados durante los monitoreos serán subidos a la plataforma virtual del proyecto (<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.

7.4. 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 son vitales para favorecer la conservación, restauración de la flora y sus servicios eco-sistémicos.

Para determinar la diversidad de invertebrados asociados a los sitios de estudio de la isla Española, se emplearán 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 (ICDRS) de la FCD, como lo disponen las regulaciones de la DPNG y los resultados serán publicados en revistas científicas.

DIRECCIÓN DEL PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS DIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL

7.5. 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.

7.6. 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.

7.6.1. 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 (ver personal certificado para vuelos de dron en staff FCD) y certificado, con amplia experiencia de vuelo de drones para uso científico. 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).

7.6.2. Monitoreos aéreos

Se utilizará el Drone 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.

7.6.3. 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 geométricamente, 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.

7.6.4. 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

8. Resultados Esperados

- En Baltra, se espera sembrar por lo menos **900 plantas de 3 especies diferentes en los sitios actuales y nuevos con severos impactos.**
- Para la siembra masiva junto a la DPNG e instituciones presentes en Baltra se espera utilizar **2000 cactus** que durante cuatro años han estado creciendo en el invernadero de la DPNG.
- En el ecosistema de referencia se espera realizar el segundo muestreo **en las 20 parcelas establecidas durante (marzo-abril).**
- Con la primera colecta de excrementos de iguanas terrestres en Seymour Norte y Baltra, conoceremos la dieta de estos herbívoros y como **dispersan las semillas en cada isla.**
- **Análisis de datos** de toda la información generada en Seymour Norte y parcelas similares realizadas en Baltra.
- **Nuevo Plan de Acción** para la restauración ecológica en islas remotas.
- **Dos manuscritos** (peer-reviewed paper) que detallen la diversidad y riqueza de invertebrados terrestres asociados a los procesos de restauración ecológica de la Isla Baltra y la contribución de un ecosistema de referencia para la restauración ecológica de Baltra.

9. Estrategias de Comunicación

Es prioritario continuar comunicando los resultados de la investigación para apoyar los procesos de trabajo y avance del proyecto. Se continuará difundiendo los resultados a través de posts en redes sociales, blogs, y notas de prensa. Además, se utilizará imágenes y videos capturados por drone con fines de difusión científica.

10. Distribución espacial y temporal

Para cumplir con los objetivos propuestas y lograr contribuir a cumplimiento o no de nuestras hipótesis, trabajaremos en dos islas: Baltra y su ecosistema de referencia Seymour Norte. Hasta el momento, el proyecto monitorea activamente 6 sitios de estudio (Tabla 3)

Tabla 3. Sitios de estudio en los que se efectúa actualmente la investigación y ecosistemas de referencia de la isla Batra.

| Isla | Sitio | Longitud | Latitud |
|----------------|-----------------------------|--------------|--------------|
| Baltra | Antiguo basurero | -90.26291062 | -0.447892994 |
| | Casa de piedra | -90.44214928 | -0.485513071 |
| | Casa del ojo | -94.70745968 | -0.944900027 |
| | Corredor Ecológico ECOGAL | -91.83541499 | -0.615282318 |
| | Jardín ecológico Aeropuerto | -90.26859608 | -0.444624518 |
| | Parque Eólico | -90.44523882 | -0.462965213 |
| | Ruta Principal | -94.35912804 | -0.914096892 |
| Seymour Norte* | La Plataforma | -90,2756944 | -0,388472222 |

11. Cronograma

Dentro de la planificación del proyecto está 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 Shiny App del proyecto, la misma que se sincroniza automáticamente desde la matriz general de monitoreos y plataforma. Todos los monitoreos se priorizan de acuerdo con gráficos relacionando fecha de monitoreo con isla/sitios de estudio. Se mantienen 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 y un gráfico de prioridad por sitio de estudio (Figura 4).

DIRECCIÓN DEL PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS
DIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL



Monitoring Calendar - Sites

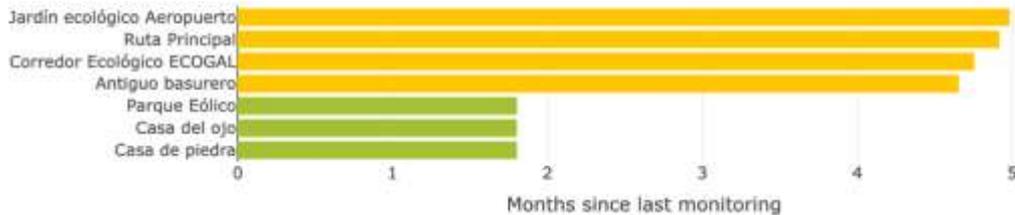


Figura 4. Calendario de monitoreo de las islas en las que trabaja el proyecto GV2050. El color de las barras indica la prioridad alta, media y baja (rojo, amarillo y verde) de monitoreo.

Tabla 4. Calendario de monitoreo de los sitios de estudio del proyecto GV2050. El color de las barras indica los días de campo y monitoreos.

| Descripción | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Análisis de datos efectividad y costos | | 1 | 1 | | 1 | | | | 1 | | | 1 |
| Análisis de la densidad poblacional de Opuntia echios con 20 parcelas en toda la isla | | | 1 | | | | | 1 | | | | |
| Búsqueda y colección de frutos y semillas en toda la isla de las 15 especies clave, para su selección, limpieza y germinación en el vivero del PNG y el laboratorio de la FCD | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | | 1 | | 1 |
| Colección de excrementos de iguanas terrestres en Baltra | | | 1 | | | 1 | | | 1 | | | |
| Colección de excrementos de iguanas terrestres en Seymour Norte | | | | 1 | | | | | | | | |
| Colección de invertebrados terrestres y muestras botánicas en las 20 parcelas y sitios de estudio | | 1 | | | | | 1 | | | | | 1 |
| Escritura de Reporte técnico para la DPNG | | | | | 1 | | | | | | 1 | |
| Monitoreos y mantenimiento en corredor ecológico, jardines nativos dentro del aeropuerto ecológico, Casa de Piedra y Parque Eólico | | 1 | | | | | 1 | | | | | 1 |
| Segundo muestreo en el ecosistema de referencia con las 20 parcelas establecidas | | | | 1 | | | | | | | | |
| Siembra en los sitios estratégicos seleccionados para su restauración, con respecto a disponibilidad de plántulas de vivero del PNG y FCD. | | 1 | | | | | 1 | | | | | 1 |
| Siembra masiva en áreas alteradas sin intervención del proyecto en los últimos años | | | 1 | | | | | | 1 | | | |

12. Cantidad de colecciones de muestras:

Por la naturaleza y magnitud de los sitios de estudio en las islas Baltra y Seymour Norte 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,

DIRECCIÓN DEL PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS

DIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL

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

| Tipo de Muestra | Cantidad Estimada | Especie | Tipo de Análisis y laboratorio |
|---|-------------------|---|---|
| Muestras Botánicas Baltra y Seymour Norte | 160 | Varias especies para Herbario CDS | Identificación de especies y colección de referencia. |
| Invertebrados terrestres en cada sitio de estudio y parcelas establecidas en Baltra y Seymour Norte. | 2000 | Varios grupos en cada isla | Identificación de especies y colección de referencia. |
| Semillas de plantas nativas, endémicas para restauración ecológica de las islas: Baltra | 8000 | <i>Parkinsonia aculeata</i> , <i>Lycium minimum</i> , <i>Scalesia crockeri</i> , <i>Acacia macracantha</i> , <i>Senna pistaciifolia</i> , <i>Maytenus octogona</i> , <i>Bursera malacophylla</i> , <i>Opuntia echios</i> var. <i>echios</i> , <i>Vallesia glabra</i> , <i>Castela galapageia</i> , <i>Volkameria mollis</i> y <i>Scutia spicata</i> . | Ensayos de viabilidad y germinación y producción de plántulas. |
| Plántulas y semillas in-situ de 12 especies clave Baltra | 4000 | <i>Acacia macracantha</i> , <i>Maytenus octogona</i> , <i>Bursera malacophylla</i> , <i>Opuntia echios</i> var. <i>echios</i> , <i>Castela galapageia</i> , <i>Volkameria mollis</i> | Ensayos de viabilidad y germinación. Producción de plántulas, crecimiento y pre-adaptación en vivero forestal de Santa Cruz |
| Heces de iguanas terrestres: Baltra y Seymour Norte. | 2000 | Semillas desde heces de Iguanas terrestres. Varias especies depende de su alimento. | Obtención de semillas de <i>O. echios</i> y otras especies parte de la dieta de las iguanas en cada isla. |
| Frutos de cactus del género <i>Opuntia</i> Baltra | 1000 | Semillas promedio por fruto 230. | Análisis de viabilidad y germinación de semillas. |
| Muestras de suelo en cada isla de estudio: Seymour Norte y Baltra. | 400 | Suelo de diferentes tipos de sustrato. | Análisis de calidad del suelo y nutrientes. |

13. Bibliografía

- Bates, D., Mächler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2015). *Fitting linear mixed-effects models using {lme4}*. *Journal of Statistical Software* 67:1–48.
- Blake, S., Wikelski, M., Cabrera, F., Guezou, A., Silva, M., Sadeghayobi, E., Yackulic, C. B., & Jaramillo, P. (2012). Seed dispersal by Galápagos tortoises. *Journal of Biogeography*, 39(11), 1961–1972. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2011.02672.x>
- 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*.
- Cabrera, W., Gaona, C., Castillo, J., Calva, M., Villafuerte, W., & Chango, R. (2020). Censo poblacional de iguanas terrestres en Seymour Norte y reintroducción de iguanas terrestres en la isla Santiago. In *DPNG: Conservación y restauración de ecosistemas insularis*.
- 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.
- 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.

DIRECCIÓN DEL PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS DIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL

- Coronel, V. (2002). *Distribución y Reestablecimiento de Opuntia megasperma var. orientalis* Howell. (Cactaceae) en Punta Cevallos, Isla Española - Galápagos.
- Damgaard, C. (2014). Estimating mean plant cover from different types of cover data: A coherent statistical framework. *Ecosphere*, 5(2). <https://doi.org/10.1890/ES13-00300.1>
- DPNG-MAE. (2019). *Registro Oficial 257 - Resolución 055: Uso de drones.*
- DPNG. (n.d.). *Sitios de Visita de Uso Ecoturístico Intensivo*. 5, 122–139.
- DPNG. (2005). Plan de Manejo del Parque Nacional Galápagos. In *Plan de Manejo del Parque Nacional Galápagos* (p. 347).
- 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.*
- 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), S1–S46. <https://doi.org/10.1111/rec.13035>
- Gibbs, J. P. (2013). *Restoring Isla Baltra's Terrestrial Ecosystems: A Prospectus* (pp. 1–16).
- Gibbs, J. P. (2016). *Balta Island Restoration as an Extraordinary Opportunity to Harness and Showcase Waterboxx Technology.*
- 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).
- Growboxx. (2020). *Manual de plantación Groasis Growboxx @ plant cocoon Manual de plantación Groasis Growboxx @ plant cocoon.*
- Hamann, O. (1981). Plant communities of the Galapagos Islands. *Dansk Botanisk Arkiv*, 34, 163.
- Helene, 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>
- Hicks, D. J., & Mauchamp, A. (1999). *Population Structure and Growth Patterns of Opuntia echios var. gigantea along an Elevational Gradient in the Galapagos Islands1.*
- 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>
- Izurieta, A. (1991). *Historia natural de las iguanas terrestres (Conolophus subcristatus) de la Isla Seymour Norte, Galápagos*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Jaramillo, P., Guézou, A., Mauchamp, A., & Tye, A. (2021). CDF Checklist of Galápagos flowering plants. In *Charles Darwin Foundation Galápagos Species Checklist. In process.*
- 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., Lorenz, S., Ortiz, G., Cueva, P., Jiménez, E., Ortiz, J., Rueda, D., Freire, M., Gibbs, J. P., & Tapia, W. (2015). Galapagos Verde 2050: An opportunity to restore degraded ecosystems and promote sustainable agriculture in the Archipelago. *Galapagos Report 2013-2014, September*, 133–143.
- 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., 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.*
- Kumar, K., Gentile, G., & Grant, T. (2020). *Conolophus subcristatus, Galápagos.*
- Land Life Company. (2015). *Benefits of the COCOON technology. Available at https://landlifecompany.com.*
- 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.
- McKinnon, T., & Hoff, P. (2017). Comparing RGB-Based Vegetation Indices With NDVI For Drone Based Agricultural Sensing. *Agrobotix.*
- 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>
- Ortiz-Catedral, L. (2018). *Tamaño poblacional de iguanas terrestres (Conolophus subcristatus) y nivel de*

DIRECCIÓN DEL PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS
DIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL

herviboría de Opuntia echios en Seymour Norte.

- Peyrusson, F. (2018). *Effect of Hydrogel on the Plants Growth*.
- Plunkett, E., Negoita, L., & Jaramillo, P. (2021). *The role of water availability on the early stages of restoration of Galapagos endemic Scalesia affinis ssp. affinis* (pp. 1–20).
- 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/>.
- 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>
- 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>
- Traveset, A., Nogales, M., Vargas, P., Rumeu, B., Olesen, J. M., Jaramillo, P., & Heleno, R. (2016). Galápagos land iguana (*Conolophus subcristatus*) as a seed disperser. *Integrative Zoology*, 11, 207–213. <https://doi.org/10.1111/1749-4877.12187>
- Vargas, P., Nogales, M., Jaramillo, P., Olesen, J. M., Traveset, A., & Heleno, R. (2014a). *Plant colonization across the Galápagos Islands : success of the sea dispersal syndrome*. 349–358.
- Vargas, P., Nogales, M., Jaramillo, P., Olesen, J. M., Traveset, A., & Heleno, R. (2014b). Plant colonization across the Galápagos Islands: Success of the sea dispersal syndrome. *Botanical Journal of the Linnean Society*. <https://doi.org/10.1111/boj.12142>
- 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.

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>