

DIRECCIÓN DEL PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS
DIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL

1. Título del Proyecto: Programa Galápagos Verde 2050:

Evaluación de los factores bióticos y abióticos que afectan la restauración de *Opuntia echios* var. *echios* en la isla Plaza Sur, teniendo a la isla Plaza Norte como referente ecológico.

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 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 Nuñez: 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)	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
Nishi Rajakaruna	California Polytechnic State University.	Estadounidense	485142816	nrajakar@calpoly.edu

DIRECCIÓN DEL PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS
DIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL

Víctor Rueda Ayala	Agroscope Company	Ecuatoriano	1713554044	victor.rueda.ayala@nibio.no
Luka Negoita	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	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,

DIRECCIÓN DEL PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS
DIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL

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., 2020a; Jaramillo, Lorenz, Ortiz, Cueva, Jiménez, Ortiz, Rueda, Freire, & Gibbs, 2015; Negoita et al., 2021; P. I. Tapia et al., 2019), con el propósito de contribuir al proceso de **restauración ecológica activa de la isla Plaza Sur**, iniciado por la DPNG con la erradicación de las **cabras ferales y los roedores introducidos**.

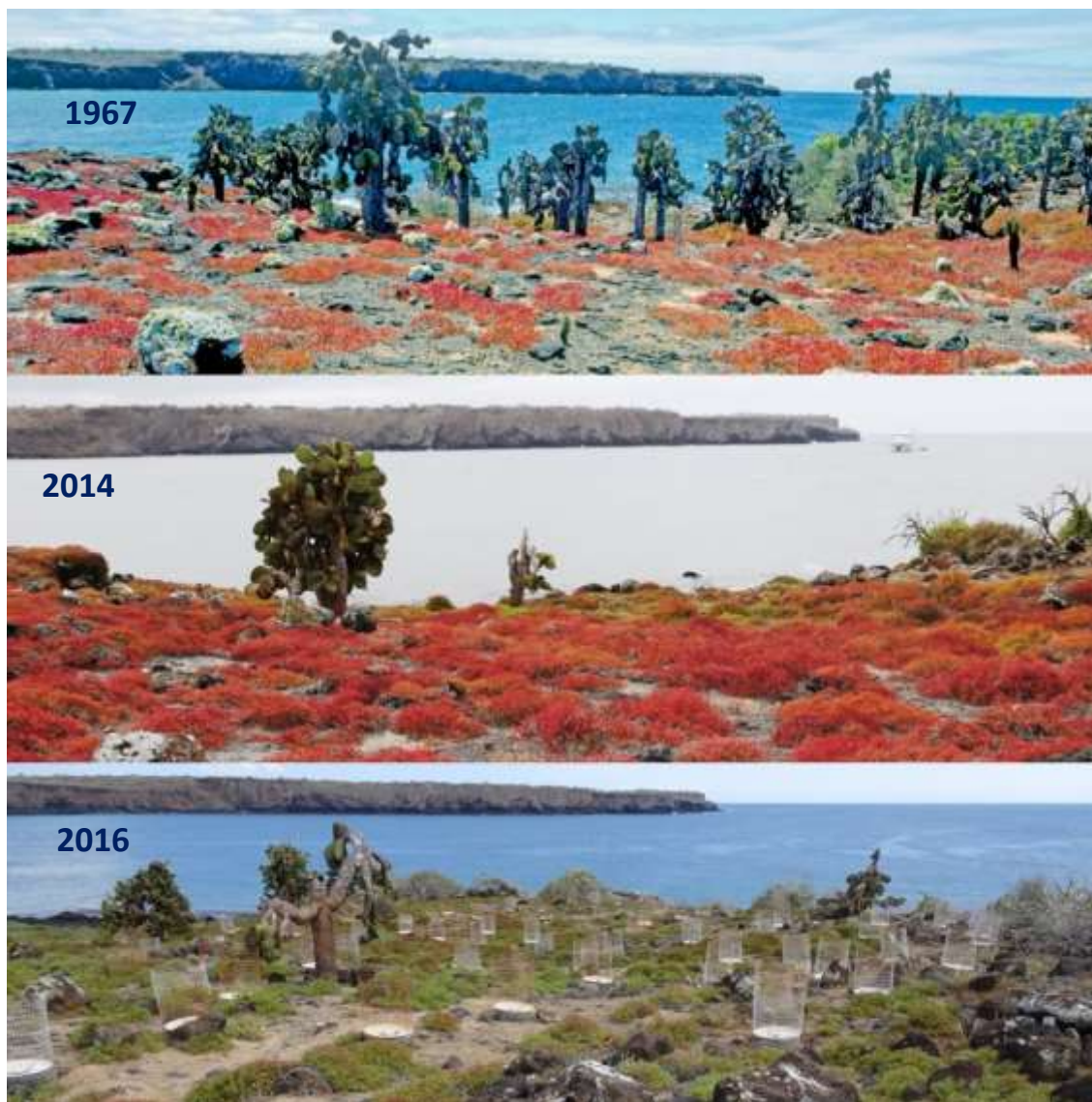


Figura 1. Cambios en la población de *O. echios var echios*, desde 1967 hasta el 2016, cuando el proyecto Galápagos Verde 2050 inició la primera fase de restauración ecológica de la isla a través de la repoblación con *Opuntia*.

La Isla Plaza Sur ha estado entre los destinos turísticos icónicos de la mayoría de circuitos de visita, más cercanos a la costa de la Isla Santa Cruz, debido a su hermoso paisaje de agua turquesa que rodea una importante extensión con de *Opuntias* endémicas e iguanas terrestres, entre otras especies. Sin embargo, **la población de *Opuntia (Opuntia echios var. echios)* en esta isla ha disminuido drásticamente durante el último medio siglo** (Grant & Grant, 1989; Jaramillo et al., 2017; Snell et al., 1994, 1999; Sulloway & Noonan, 2015; P. I. Tapia et al., 2019). Sin embargo, a pesar de la erradicación de ratones en la isla, la disminución en el número de *Opuntia* se estima en un **60% desde 1957 hasta el 2017** (Jaramillo et al., 2017, 2020a) y se debe a una combinación de factores probablemente relacionados con la presión de los herbívoros como las **iguanas nativas y los eventos extremos de El Niño** (Sulloway

DIRECCIÓN DEL PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS
DIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL

& Noonan, 2015), pero las hipótesis sobre qué está impulsando estos descensos en el número poblacional aún no se ha probado o explorado por completo (Figura 1).

Por lo tanto, y debido a que todavía existen lagunas en nuestra comprensión del número histórico real y la densidad de *Opuntias* en Plaza Sur es necesario seguir con el proceso para su restauración, mientras se trata de explorar y entender qué factores limitan la restauración de la población de esta especie en Plaza Sur. Para entender estas limitaciones, se ha identificado que también carecemos de información sobre las propiedades del suelo y cómo los factores edáficos pueden estar contribuyendo al declive de *Opuntia*. Finalmente, aunque las iguanas terrestres probablemente tienen una poderosa influencia en la dinámica de la población de *Opuntia*, se necesita evaluar esta hipótesis.

Para resolver estos problemas, la FCD a través de su Programa GV2050, propone un estudio con dos componentes: **Primero**, continuar con el estudio enfocado en la comprensión de los métodos más costo-efectivos para la restauración de *Opuntia echios* var. *echios*, y; **Segundo**, un estudio ecológico de la Isla Plaza Sur, usando su adyacente Plaza Norte como ecosistemas de referencia. Pues si bien Plaza Norte es similar en geología a Plaza Sur, según los registros históricos ha estado libre de iguanas terrestres (W. Tapia & Gibbs, 2022). Por lo tanto, esto proporciona un ecosistema de referencia ideal para intentar comprender mejor el rol de las iguanas terrestres, los factores edáficos y otras hipótesis relacionadas con el declive de *Opuntia* en Plaza Sur. Esta isla también brinda la oportunidad de realizar una estimación adicional de la regeneración natural y la densidad de *Opuntia* en ausencia de iguanas terrestres, algo esencial para definir los objetivos de restauración de la población de *Opuntia* en Plaza Sur.

5. Objetivos

Objetivo general:

Contribuir al restablecimiento de la integridad ecológica de la isla Plaza Sur, a través de la restauración de la población de *Opuntia echios* var. *echios* especie clave e ingeniera del ecosistema para alcanzar una población saludable teniendo como referencia a la isla Plaza Norte.

Objetivos específicos:

- **Experimentar con diferentes tecnologías** ahorradoras de agua en la siembra de *O. echios* var. *echios*, para identificar los métodos más eficientes para Plaza Sur.
- **Evaluar Plaza Norte como ecosistema de referencia**, para guiar las condiciones ecológicas mínimas que se debe alcanzar en las comunidades vegetales de Plaza Sur, como resultado del proceso de restauración ecológica.
- **Evaluar la herbivoría, dispersión de semillas y dieta de las iguanas terrestres** sobre la población de cactus usando Plaza Norte como ecosistema de referencia en el proceso de restauración ecológica.
- **Caracterizar el entorno edáfico** de Plaza Sur para entender su potencial efecto sobre la regeneración y supervivencia de *Opuntia* en esta isla.

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

El Programa de investigación Galápagos Verde 2050 se vincula directamente con los siguientes programas, objetivos específicos y estrategias contenidas 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.

DIRECCIÓN DEL PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS
DIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL

	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. Diseño y preguntas de investigación:

El proyecto de evaluación de los factores abióticos que afectan la restauración de *Opuntia echios* var *echios* en la isla Plaza Sur, incluye un diseño experimental dividido en cuatro partes, con las siguientes preguntas: **1) Fase experimental de siembra de *O. echios* var. *echios***: ¿Influye en la supervivencia de *Opuntia* la cantidad de agua añadida en el momento de la siembra? **2) Estudio de Plaza Norte como ecosistema de referencia**: ¿Aunque no tiene iguanas terrestres, Plaza Norte es un ecosistema de referencia adecuado para Plaza Sur? **3) Efectos de herbivoría, dispersión de semillas y dieta**: ¿Las iguanas terrestres causan efectos fuertes sobre la regeneración natural de *Opuntia echios* var? *echios* en la isla Plaza Sur comparada con Plaza Norte que no tiene iguanas terrestres? ¿las iguanas dispersan eficazmente las semillas de cactus y otras especies presentes en Plaza Sur? ¿El elemento principal de la dieta de las iguanas terrestres son únicamente los pocos cactus que aún quedan en Plaza Sur? **5) Evaluación de factores abióticos**: ¿las propiedades particulares del suelo están asociadas con una mayor regeneración de *Opuntia*? ¿Existe alguna deficiencia de nutrientes o elementos tóxicos asociados con *Opuntia* en las dos islas, y esos factores estresantes están afectando los patrones diferenciales observados en la regeneración?

- **Evaluar la herbivoría, dispersión de semillas y dieta de las iguanas terrestres** sobre la población de cactus usando Plaza Norte como ecosistema de referencia en el proceso de restauración ecológica.

7.2. Metodología:

7.2.1. Estudio sobre el costo-efectividad para la restauración de *Opuntia*:

En el pasado, entre los años 2014 a 2019 en la isla Plaza Sur, el proyecto se enfocó en entender los efectos de diferentes tecnologías ahorradoras de agua en la supervivencia y crecimiento de especies en peligro de extinción, encontrando resultados positivos para especies como *Opuntia* sp. (P. I. Tapia

DIRECCIÓN DEL PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS
DIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL

et al., 2019; Negoita et al., 2021). Actualmente, con estos datos, el proyecto está preparado para hacer **la transición** de una evaluación a nivel de **sitios** a una evaluación a nivel de **ecosistemas y/o islas**.

Este objetivo quiere determinar, cuál de las tecnologías ahorradoras de agua, pueden brindar la solución más beneficiosa, en relación **costo-beneficio, para restaurar Opuntia**. Los resultados obtenidos hasta ahora en otras islas como: Baltra, Española y Santa Cruz sugieren que la tecnología **Groasis es la más idónea** para los procesos de restauración en Plaza Sur debido al crecimiento acelerado de las plantas con y sin tecnología además de la supervivencia posterior a los dos primeros años de vida (Jaramillo, Lorenz, Ortiz, Cueva, Jiménez, Ortiz, Rueda, Freire, Gibbs, et al., 2015; P. I. Tapia et al., 2019). Sin embargo, se conoce que la siembra directa también **puede ser una opción** viable debido a su facilidad de implementación y bajo costo hasta ahora registrado únicamente para la isla Baltra en una sola especie (Negoita et al., 2021).

Por lo tanto, **en el presente estudio** se implementará un nuevo diseño experimental con protocolos altamente controlados para comparar directamente entre **siembra directa (control)** y siembra con **Groasis** en circunstancias idénticas. Los aspectos clave de este experimento son los siguientes:

Se usará **tres tratamientos** para confirmar la ventaja de usar Groasis, pero también para probar la importancia del agua suministrada inicialmente para controlar las siembras.

- El tratamiento Groasis recibirá 5 litros de agua al suelo y 15 litros de agua en el contenedor.
- El tratamiento siembra directa recibirá la misma cantidad de agua que los tratamientos Groasis, asegurando que se suministren 20 litros de agua al suelo y la plántula durante la siembra.
- El tratamiento Control recibirá solo 5 litros de agua de la forma en la que se han plantado los controles hasta ahora.
- Se necesitará un total de **50 réplicas por muestra para evaluar**

7.2.2. Cuantificar la densidad y regeneración natural de las poblaciones actuales de Opuntia en Plaza Sur y en Plaza Norte, como ecosistema de referencia:

Plaza Sur y Plaza Norte son dos islas similares tanto desde el punto de vista geológico como biótico, con la diferencia que Plazas Sur tiene **iguanas terrestres** y Plaza Norte a estado libre de iguanas terrestres, lo que convierte a Plaza Norte en el sitio ideal para ser usado como ecosistema de referencia y así medir si la herbivoría de las iguanas tiene efectos sobre los cactus (W. Tapia & Gibbs, 2022) .

En el caso de Plaza Sur donde el proceso de degradación no ha sido tan grave como en otras islas y las causas **no han sido de origen antrópico directo**, Plaza Norte es el ecosistema de referencia por defecto (Jaramillo et al., 2017; Snell et al., 1994; Sulloway & Noonan, 2015); lo cual da la oportunidad de evaluar entre otros aspectos, cuál es el **efecto de la presión de herbivoría de las iguanas sobre la población de cactus**.

La metodología que se implementará es el **establecimiento de parcelas** para estimar la densidad poblacional de *Opuntia*, **herbivoría, presencia-ausencia de plántulas, suelo y mas** (Damgaard, 2014b; Pérez-Latorre et al., 1999). En este caso, se establecerán al azar de **32 parcelas (16 en cada isla)** de 100 m² (**10 m x 10 m**). En cada isla, **8 parcelas** se las ubicará aleatoriamente **en zonas de Opuntia y 8 en zonas de no Opuntia**. Estas zonas serán determinadas previamente utilizando imágenes áreas obtenidas con un **Dron** para estimar **densidad poblacional de cactus en las dos islas**.

Dentro de cada parcela, todas las **plantas leñosas** individuales serán identificadas por **especie y contadas**. A cada planta leñosa individual también se le asignará una clase de edad que va desde plántula hasta adulto maduro (con un registro de si cada individuo está floreciendo o dando frutos). Se prestará especial atención al registro de **herbivoría de Opuntia** y también se medirá la **altura** de cada Opuntia de menos de dos metros. También se estimará la **cobertura vegetal relativa** de cada especie en cada parcela, utilizando el método de clases de **cobertura de Braun-Blanquet** (Damgaard, 2014a; Pérez-Latorre et al., 1999). Finalmente, se recopilará información sobre varias **variables ambientales** como covariables utilizadas para comprender los factores que pueden afectar la regeneración de *Opuntia*. Estos incluyen la cobertura aproximada de terreno desnudo, pendiente, aspecto, y cualquier nota sobre

DIRECCIÓN DEL PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS
DIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL

la presencia de iguanas terrestres y sus madrigueras o cualquier otra actividad animal. **Datos:** en cada parcela, se registrarán los siguientes datos que permitirán analizar **Densidad, frecuencia, regeneración natural, herbivoría, abundancia de la vegetación presente, suelo**. Adicionalmente se tomarán variables ambientales como **humedad, temperatura**.

Caracterizar a nivel edafológico los sitios de estudio en Plaza Sur.

El suelo (característica, composición, uso) es un factor fundamental en el proceso de restauración de las poblaciones de ciertas especies vegetales (referencia). Para cumplir este objetivo, proponemos coleccionar muestras de suelo en varios sitios de estudio.

Se coleccionará una **muestra de 200 g. de suelo de la esquina de cada parcela y punto central**, para un total de **cinco muestras por parcela**. Las muestras se coleccionarán utilizando métodos de colección de suelo estandarizados, en los que el suelo se colecciona **justo debajo de la primera capa de materia orgánica** (horizonte O), y no más profundo de 10 cm por debajo de eso. El suelo se coleccionará en bolsas de papel dobladas y se colocará inmediatamente en un horno de secado, el mismo día durante un mínimo de 48 horas. Luego se enviará muestras para análisis de laboratorio de la textura del suelo, N, P y K orgánico y disponible, así como salinidad, Ca y Mg. Analizaremos además el pH, contenido de materia orgánica, cationes intercambiables (Ca, Mg, Na, K) y capacidad de intercambio catiónico, N (como NH₄ + y NO₃-), P, conductividad eléctrica, textura del suelo y también, algunos metales micronutrientes disponibles en las plantas como **Cu, Zn, Mn, Mo, Fe**. Para responder a una de las preocupaciones sobre **si los metales tóxicos ingresan a los suelos desde el guano de lobos marinos, las aves y reptiles, podemos observar el Pb, el Cd y otros elementos potenciales**. Se conoce que los metales pesados están presentes en los **suelos derivados del guano**, por lo que también podrían tener un impacto en el crecimiento de *Opuntia* (Chaulagán & Shrestha-Malla, 2018; Negoita et al., 2016; Paukov et al., 2019; Zortéa et al., 2016).

Interacción planta-animal: Se prestará especial atención al registro de herbivoría de *Opuntia* siguiendo la edad evaluada en: plántula (hasta 30 cm con espinas el doble del tamaño normal), juvenil (mayor a dos meros y con un tronco lleno de espinas) y adulto con cladodios abundantes y tronco desnudo) (Jaramillo et al., 2017; Racine & Downhower, 1974).

Tejido foliar de las especies dominantes (quizás incluso de *Opuntia*, en este caso tejido cladofilico), esto servirá para ver si hay tendencias inusuales en el contenido elemental en el tejido vegetal (Paukov et al., 2019; Zortéa et al., 2016). Esto también podría darnos alguna orientación sobre si las plantas están sufriendo alguna toxicidad o deficiencia.

Los censos de todas las parcelas se los realizará en el período de un mes, idealmente entre febrero y mayo, cuando la productividad de la vegetación alcanza su punto máximo y permite la identificación de campo de la mayoría de las especies de plantas. El mismo equipo de personal inspeccionará ambas islas para garantizar la coherencia y alternará entre ocho parcelas aleatorias en cada isla, hasta que todas estén completas. Con un equipo de campo mínimo de seis personas, incluidos guardaparques, estimamos completar ocho censos de parcelas por día, lo que sugiere una estimación general de seis días de trabajo de campo (tres por isla). Todos los datos se los registrará en hojas de campo a prueba de agua durante el día y serán transferidos a una base de datos digital cada noche.

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

7.5.1. Colecta de excrementos, frutos, cladodios y semillas

La colecta de semillas para la restauración ecológica de Plaza Sur a través de la repoblación con cactus, para asegurar la obtención de semillas viables se la hará a partir de 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).

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

DIRECCIÓN DEL PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS
DIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL

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).

7.5.2. Transporte de plántulas desde Santa Cruz y siembras en Plaza Sur

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*, 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., 2017, 2020a).

7.5.3. Uso de las tecnologías ahorradoras de agua

Poniendo en práctica los principios del **manejo adaptativo**, continuaremos utilizando únicamente las tecnologías que resultan más costo-efectivas. Por lo tanto, en Plaza Sur la siembra se realizará utilizando como tratamiento la tecnología ahorradora de agua Groasis Waterboxx. Mientras que para los controles se aplicará, dos tratamientos: 15 lt de agua directamente sin ninguna tecnología y otro con 5 litros solamente, tal y como se ha sembrado en el pasado, esto servirá para medir el efecto de la cantidad de agua sin tecnologías (Faruqi et al., 2018; Hoff, 2014; Jaramillo et al., 2020b; Tapia et al., 2019). En cada sitio de estudio de la isla obtendremos información general del trabajo de campo y avances por tecnologías.

7.5.4. Caracterización de la dinámica de los ecosistemas de cada sitio de estudio por medio del estudio de sus interacciones físicas y biológicas.

7.5.4.1. Cámaras trampa

Se continuará con el uso de **cámaras trampa 'Reconyx HF2X HyperFire 2'** para conocer como la fauna interactúa en nuestras áreas de estudio, lo cual proveerá un mejor registro y mayor comprensión de cómo los animales en islas remotas se **comportan frente a espacios con tecnologías ahorradoras de agua** como parte de un proceso de restauración ecológica de ecosistemas alterados (Meek et al., 2012).

7.5.4.2. 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 (ICCDRS) 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

7.5.4.3. 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.

7.5.4.4. 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.

7.5.4.5. 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 con licencia de manejo y certificado, con amplia experiencia de vuelo de drones para uso científico (ver lista de staff calificado en la propuesta). 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.

7.5.4.6. 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.

7.5.4.7. Análisis de imágenes aéreas

Las imágenes obtenidas en estas campañas se las procesará 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.

7.5.4.8. 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 & Hoff, 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.

7.6. Análisis de datos

DIRECCIÓN DEL PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS
DIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL

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, 2014b). Las muestras de suelo obtenidas de las parcelas de Plaza Sur y Plaza Norte, 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.

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**. Parametizamos 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%.

Varios 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.

7.6.1. 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.

7.6.2. 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 desarrollo 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.

8. Resultados Esperados

DIRECCIÓN DEL PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS
DIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL

- Caracterización ecológica de Plaza Norte como ecosistema de referencia en función de: **diversidad, densidad poblacional de Opuntias, herbivoría, tipo de suelo.**
- **Estimación empírica** sobre el tamaño de la población objetivo para la restauración de *Opuntia* en la isla Plaza Sur, número que parte de una población original estimada en 300 individuos (Jaramillo et al., 2017; Sulloway & Noonan, 2015)
- Identificación de las tecnologías ahorradoras de agua más **idóneas** en función costo-beneficio para Plaza Sur Siembra.
- Suelos **analizados** de Plaza Sur colectados en todas las parcelas establecidas en la isla, y la estimación del potencial efecto sobre la restauración de *Opuntia* identificada.
- **Dos manuscritos** (peer-reviewed papers sometidos o publicados) que detallen: 1) los resultados comparativos de Plaza Sur y Plaza Norte como un ecosistema de referencia para la restauración ecológica de Plaza Sur, 2) la diversidad y riqueza de plantas e invertebrados terrestres asociados a los procesos de restauración ecológica de la Isla Plaza Sur.

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 dron con fines de difusión científica. Publicaciones científicas de los resultados.

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: Plaza Sur y su ecosistema de referencia Plaza 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
Plaza Sur	Centro	-90.16299037	-0.584056085
	Los Lobos Este	-91.05159895	-0.681397469
	Oeste Cerro Colorado	-90.1674644	-0.581910387
Plaza Norte	Isla	-90.1609300	-0.580723324

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 RestoR 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 (Figura 2 y Tabla 4). 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.

DIRECCIÓN DEL PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS
DIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL



Monitoring Calendar - Sites



Figura 3. Calendario de monitoreo de la isla Plaza Sur en los tres sitios de estudio.

Tabla 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.

Descripción	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Análisis de suelo y tejido epitelial							1	1				
Clasificación de semillas encontradas en excrementos de iguana terrestre como parte de dispersión de semillas, dieta e interacciones en la isla	1	1	1									
Colección de suelo y tejido epitelial sobre cladodios de <i>Opuntias</i> adultas						1						
Evaluación de la densidad y composición de especies leñosas y cactus presentes en los ecosistemas de referencia Plaza Norte y Plaza Sur						1						1
Germinación de semillas de <i>Opuntia echios</i> var. <i>echios</i> a partir de frutos frescos y excrementos de iguanas.						1						1
Instalación de cámaras sensibles al movimiento que proveerán un mejor registro y mayor comprensión de cómo los animales de la isla están interactuando en los sitios de estudio.		1				1				1		
Instalación de medidor de humedad, temperatura y precipitación		1				1				1		
Inventario de la vegetación en los ecosistemas de referencia Plaza Norte y Seymour Norte			1						1			
Mantenimiento y cuidado de plántulas exsitu en el laboratorio antes de las siembras para restauración	1		1		1		1		1		1	

DIRECCIÓN DEL PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS
DIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL

Monitoreo de crecimiento y estado de nuevos individuos establecidos en los sitios de estudios con las tecnologías ahorradoras de agua						1							1
Primer borrador para publicación científica del proceso de restauración ecológica en la isla Plaza Sur.												1	1
Reporte químico de análisis de suelos y tejido epitelial										1	1		
Reporte técnico de todas las especies encontradas en los excrementos de iguanas desde el 2019 al 2021				1	1								
Siembra y establecimiento de plántulas de cactus en la isla, con tecnologías ahorradoras de agua.				1				1					
Socialización del proyecto con guías y cruceros turísticos para educar grupos de turistas visitantes. Incluye la entrega de trípticos informativos.		1						1					1

12. Cantidad de colecciones de muestras:

Por la naturaleza y magnitud de los sitios de estudio en las islas Plaza Norte y Plazas Sur, resulta casi imposible determinar un número exacto de muestras que se coleccionará. 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 4. Lista del número estimado y tipo de muestras que se coleccionará

Tipo de Muestra	Cantidad Estimada	Especie	Tipo de Análisis
Muestras Botánicas Plaza Sur, Plaza Norte	500	Varias encontradas en todas las parcelas establecidas	Identificación de especies y colección de referencia.
Invertebrados terrestres en cada isla de estudio Plaza Sur, Plaza Norte.	3000	Varios grupos en cada isla	Identificación de especies y colección de referencia.
Semillas de cactus para restauración ecológica de las islas: Plaza Sur, Plaza Norte	10000	<i>Opuntia echios</i> var. <i>echios</i> .	Ensayos de viabilidad y germinación y producción de plántulas.
Plántulas y semillas insitu de <i>Opuntia echios</i> var. <i>echios</i>, Plaza Sur.	10000	<i>Opuntia echios</i> var. <i>echios</i> .	Ensayos de viabilidad y germinación. Producción de plántulas, crecimiento y pre-adaptación en vivero forestal de Santa Cruz
Heces de iguanas terrestres (Plaza Sur).	2000	Semillas de varias especies	Obtención de semillas de <i>O. echios</i> .

DIRECCIÓN DEL PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS
DIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL

Muestras de suelo en cada isla de estudio (Plaza Sur, Plaza Norte).	400	Suelo de varios sustratos	Análisis de calidad del suelo.
--	-----	---------------------------	--------------------------------

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*.
- 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.
- Chaulagain, S., & Shrestha-Malla, A. M. (2018). Effects of Edaphic (Soil) Factors on Plant Distribution in Chameli Community Forest, Bhaktapur, Nepal. *International Journal of Applied Sciences and Biotechnology*, 6(1), 27–37. <https://doi.org/10.3126/ijasbt.v6i1.19470>
- Coronel, V. (2002). *Distribución y Reestablecimiento de Opuntia megasperma var. orientalis* Howell. (Cactaceae) en Punta Cevallos, Isla Española - Galápagos.
- Damgaard, C. (2014a). Estimating mean plant cover from different types of cover data: A coherent statistical framework. *Ecosphere*. <https://doi.org/10.1890/ES13-00300.1>
- Damgaard, C. (2014b). 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. (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*.
- 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.
- Heleno, R., Blake, S., Jaramillo, P., Traveset, A., Vargas, P., & Nogales, M. (2011). Frugivory and seed dispersal in the Galápagos: what is the state of the art? *Integrative Zoology*, 6(2), 110–129. <https://doi.org/10.1111/j.1749-4877.2011.00236.x>
- Hicks, D. J., & Mauchamp, A. (1999). *Population Structure and Growth Patterns of Opuntia echios var. gigantea along an Elevational Gradient in the Galapagos Islands*1.
- 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., 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*

DIRECCIÓN DEL PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS
DIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL

Baltra y Plaza Sur.

- Jaramillo, P., Tapia, W., Negoita, L., Plunkett, E., Guerrero, M., Mayorga, P., & Gibbs, J. P. (2020a). *El Proyecto Galápagos Verde 2050 (Volumen 1)*.
- Jaramillo, P., Tapia, W., Negoita, L., Plunkett, E., Guerrero, M., Mayorga, P., & Gibbs, J. P. (2020b). *The Galapagos Verde 2050 Project*.
- 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>.
- 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. *Agribotix*.
- MEEK, P., BALLARD, G., & FLEMING, P. J. S. (2012). An introduction to camera trapping for wildlife surveys in Australia | ResearchGate. In ... *Animals Cooperative Research ...*
- 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., Dickinson, M., Mittelhauser, G. H., & Rajakaruna, N. (2016). A comparative study of the flora and soils of Great Duck and Little Duck Islands, Maine, USA. *Rhodora*, 118(973), 46–85. <https://doi.org/10.3119/15-11>
- 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>
- Paukov, A., Teptina, A., Morozova, M., Kruglova, E., Favero-Longo, S. E., Bishop, C., & Rajakaruna, N. (2019). The effects of edaphic and climatic factors on secondary lichen chemistry: A case study using saxicolous lichens. *Diversity*, 11(6), 6–11. <https://doi.org/10.3390/D11060094>
- Pérez-Latorre, A. V., Navas-Fernández, D., Gil-Jiménez, Y., Navas-Fernández, P., & Cabezudo, B. (1999). Una metodología para la evaluación y valoración del paisaje vegetal en los estudios de planeamiento territorial a nivel municipal. Aplicación en Andalucía. *Actas Del XVI Congreso de Geógrafos Españoles. El Territorio y Su Imagen.*, 253–261.
- 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/>.
- Racine, C., & Downhower, J. F. (1974). Vegetative and reproductive strategies of *Opuntia* (Cactaceae) in the Galápagos Islands. *Biotropica*, 6, 175–186.
- Snell, H. L., Snell, H. M., & Stone, P. (1994). Accelerated mortality of *Opuntia* on Isla Plaza Sur: another threat from an introduced vertebrate? *Noticias de Galapagos*, 53, 19–20.
- Snell, H. L., Tye, A., Causton, C. E., & Bensted-Smith, R. (1999). Visión para la Biodiversidad Terrestre. In *Estado y amenaza de la Biodiversidad terrestre de Galápagos* (pp. 30–45).
- Sulloway, F. J., & Noonan, K. (2015). *Final Technical Report , 12 January 2015 Opuntia Cactus Loss in the Galapagos Islands , 1957-2014 (Pérdida de cactus Opuntia en las Islas Galápagos , . 2015(January), 1–30*.
- 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., & Gibbs, J. P. (2022). Galapagos land iguanas as ecosystem engineers. *PeerJ*, 1–46.
- 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>
- 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

Zortéa, T., Testa, M., Da Silva, A. W., & Baretta, D. (2016). Toxicidade do cobre em função da correção do pH em dois solos naturais – Uma abordagem com plantas e organismos edáficos. *Scientia Agraria*, 17(1). <https://doi.org/10.5380/rsa.v17i1.47554>

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>