

DIRECCIÓN DEL PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS  
DIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL

## 1. Título del Proyecto: Programa Galápagos Verde 2050

**Restauración ecológica en Sitios de Uso Especial:** Evaluación de la diversidad en áreas naturales e intervenidas.

## 2. Institución:

Fundación Charles Darwin y Dirección del Parque Nacional Galápagos

## 3. Investigador Principal y Participantes

### - Investigadora Principal (FCD):

Patricia Jaramillo Díaz: [patricia.jaramillo@fcdarwin.org.ec](mailto: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](mailto: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](mailto:anna.calle@fcdarwin.org.ec) 0104059431 (Ecuatoriana, Puerto Ayora-Isla Santa Cruz)

### - Asistente de investigación (FCD): Liliana Jaramillo [liliana.jaramillo@fcdarwin.org.ec](mailto:liliana.jaramillo@fcdarwin.org.ec) 1716044357 (Ecuatoriana, Puerto Ayora-Isla Santa Cruz)

### - Asistente técnico (FCD): Paúl Mayorga: [paul.mayorga@fcdarwin.org.ec](mailto:paul.mayorga@fcdarwin.org.ec) 2000127262 (Ecuatoriano, Puerto Ayora-Isla Santa Cruz).

### - Asistente de campo: Hamilton John Mora Chango [jhon.chango@fcdarwin.org.ec](mailto: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](mailto:lenyn.betancourt@fcdarwin.org.ec) 2000045832 (Ecuatoriano, Puerto Ayora-Isla Santa Cruz).

### - Asistente taxónoma entomóloga CDS (FCD): Andrea Carvajal: [andrea.carvajal@fcdarwin.org.ec](mailto:andrea.carvajal@fcdarwin.org.ec) A0149173 (Colombiana).

### - Especialista en SIG (FCD): Byron Delgado: [byron.delgado@fcdarwin.org.ec](mailto: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](mailto: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](mailto: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	Correo electrónico
Alberto Vélez	Agencia de Bioseguridad para Galápagos (ABG)	Ecuatoriano	2000066924	<a href="mailto:alberto.velez@abgalapagos.gob.ec">alberto.velez@abgalapagos.gob.ec</a>
Ronald Azuero	Agencia de Bioseguridad para Galápagos (ABG)	Ecuatoriano	2000058236	<a href="mailto:ronal.azuero@abgalapagos.gob.ec">ronal.azuero@abgalapagos.gob.ec</a>
Marilyn Cruz	Agencia de Bioseguridad para Galápagos (ABG): Con convenio	Ecuatoriana	2000031639	<a href="mailto:marilyn.cruz@abgalapagos.gob.ec">marilyn.cruz@abgalapagos.gob.ec</a>
Víctor Rueda Ayala	Agroscope Company	Ecuatoriano	1713554044	<a href="mailto:victor.rueda.ayala@nibio.no">victor.rueda.ayala@nibio.no</a>
Luka Negoita	Consultor, The grant ecology	Estadounidense	550607307	<a href="mailto:lukanegoita@gmail.com">lukanegoita@gmail.com</a>
Christian Sevilla	DPNG	Ecuatoriano	914313275	<a href="mailto:csevilla@galapagos.gob.ec">csevilla@galapagos.gob.ec</a>
Danny Rueda	DPNG	Ecuatoriano	912776887	<a href="mailto:drueda@galapagos.gob.ec">drueda@galapagos.gob.ec</a>
Edie Rosero	DPNG	Ecuatoriano	2000022539	<a href="mailto:erosero@galapagos.gob.ec">erosero@galapagos.gob.ec</a>
Francisco Moreno	DPNG	Ecuatoriano	2000074571	<a href="mailto:fmoreno@galapagos.gob.ec">fmoreno@galapagos.gob.ec</a>
Jimmy Bolaños	DPNG	Ecuatoriano	2000068250	<a href="mailto:jbolanos@galapagos.gob.ec">jbolanos@galapagos.gob.ec</a>
Jadira	Junta Parroquial Floreana	Ecuatoriana	2300165178	<a href="mailto:gadparroquialislasantamaria@gmail.com">gadparroquialislasantamaria@gmail.com</a>
Diego Quito	Escuela Politécnica del Litoral ESPOL	Ecuatoriano	103578761	<a href="mailto:dquito@epol.edu.ec">dquito@epol.edu.ec</a>
Daniel Sherman	Galápagos Conservancy	Estadounidense	478243745	<a href="mailto:dansherman23@gmail.com">dansherman23@gmail.com</a>
Washington Tapia	Galápagos Conservancy	Ecuatoriano	1001506078	<a href="mailto:wtapia@galapagos.org">wtapia@galapagos.org</a>
Andrés Cruz	Lindblad Expeditions-National Geographic / Galapagos Workshop.	Ecuatoriano	2000074563	<a href="mailto:cruzandres95@gmail.com">cruzandres95@gmail.com</a>
Joshua Vela Fonseca	Lindblad Expeditions-National Geographic / Galapagos Workshop.	Ecuatoriano	1715389274	<a href="mailto:joshua102004@gmail.com">joshua102004@gmail.com</a>
José Cerca	Norwegian University of Science and Technology (NTNU).	Portuguesa	CB903952	<a href="mailto:jose.cerca@ntnu.no">jose.cerca@ntnu.no</a>
Mike Martin	Norwegian University of Science and Technology (NTNU).	Estadounidense	561146504	<a href="mailto:mike.martin@ntnu.no">mike.martin@ntnu.no</a>
Michael Stewart	Troy University	Estadounidense	499669389	<a href="mailto:stewartpms@gmail.com">stewartpms@gmail.com</a>
Alan Tye	UICN	Inglesa	7018531370	<a href="mailto:alan.tye@iucn.org">alan.tye@iucn.org</a>
Jessica Duchicela	Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE	Ecuatoriana	1710463835	<a href="mailto:jiduchicela@espe.edu.ec">jiduchicela@espe.edu.ec</a>
Cristian Pavel Enríquez	Universidad de las Fuerzas Armadas, Biotecnología	Ecuatoriano	1718193004	<a href="mailto:pavelenriquez96@gmail.com">pavelenriquez96@gmail.com</a>

DIRECCIÓN DEL PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS  
DIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL

María del Mar Trigo	Universidad de Málaga	Española	PAA038862	<a href="mailto:aerox@uma.es">aerox@uma.es</a>
James Gibbs	Universidad Estatal de Nueva York	Estadounidense	483694275	<a href="mailto:jgibbs@esf.edu">jgibbs@esf.edu</a>
Conley McMullen	Universidad Madison	Estadounidense	585472511	<a href="mailto:mcmullck@jmu.edu">mcmullck@jmu.edu</a>
Ole Hamann	University of Copenhagen	Danesa	207175044	<a href="mailto:oleh@snm.ku.dk">oleh@snm.ku.dk</a>

#### 4. Justificación:

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

El Galápagos Verde 2050 (GV2050) es un programa de investigación interdisciplinaria, el cual combina **investigación pura y aplicada para el manejo adaptativo** (Jaramillo et al., 2015, 2020a; Negoita et al., 2021; Tapia et al., 2019), **con el propósito de contribuir al proceso de restauración ecológica para el manejo de los sitios de Uso Especial en las islas pobladas.**

En promedio la población humana en Galápagos durante por lo menos las últimas tres décadas se ha **incrementado en aproximadamente el 6% anual** (INEC, 2010; Jaramillo, 1999), lo cual ha hecho que a su vez, se incrementen los **impactos humanos** como por ejemplo, la mayor incidencia de **especies invasoras en** las islas (Buddenhagen & Tye, 2015), dando lugar a una creciente presión sobre los ecosistemas naturales (DPNG, 2014). Además, se puede decir que existen actividades que irrespetan regulaciones en las islas pobladas (Torsten et al., 2010), como por ejemplo en Baltra, en donde en la actualidad, a pesar de su prohibición, existe un botadero de basura, llamado localmente ‘antiguo botadero’, el cual aún permanece activo (Gibbs, 2013; Jaramillo et al., 2020a).

Adicionalmente, el **número de turistas** que ingresan a las islas ha crecido en los últimos años, provocando que la producción de desechos no sea solo por parte de los habitantes locales, sino por los visitantes (Torsten et al., 2010). En ese sentido, la cantidad de desechos generados oscila entre las **cinco toneladas diarias** (Torsten et al., 2010), las mismas que son depositadas en sitios de uso especial del PNG, específicamente en los **basureros municipales de las islas pobladas y en Baltra**. Por esta razón el proyecto Galápagos Verde 2050, **durante los últimos seis años**, ha trabajado en parte de la restauración ecológica de los botaderos de basura en las islas Baltra y Floreana. Actualmente, luego de haber desarrollado el proceso de restauración ecológica utilizando tecnologías ahorradoras de agua, se propone para el 2022, **analizar** los datos y posteriormente, **evaluar** la diversidad biológica presente en las **áreas restauradas**, naturales y en aquellas aún impactadas (Jaramillo et al., 2020a).

#### 4.1. Restauración ecológica de Sitios de Uso Especial en las islas Galápagos.

La DPNG en la medida de lo posible, trata de manejar sosteniblemente los recursos naturales, para poder atender las necesidades de los habitantes y al mismo tiempo minimizar el uso extractivo de estos en los sitios de uso especial, procurando la recuperación de estos sitios de extracción, a través de sistemas de seguimiento, control y evaluación (DPNG, 2014).

##### 4.1.1. Antecedentes de La Mina de Ripio Negro en Floreana

Las ‘Minas’ son Sitios de Uso Especial, dentro del Parque Nacional Galápagos, y están solamente en las **islas pobladas**. En Santa Cruz, está las **Minas de ripio Negro y Rojo**; en San Cristóbal hay **una sola mina**; en Floreana, está la **Mina de Ripio Negro** (Aguirre et al., 2002; DPNG, 2014; INGALA et al., 1989).

DIRECCIÓN DEL PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS  
DIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL

En Isabela existen las minas El Cementerio, El Cocal, Manzanillo, Mango I y II, Mina de piedra y Mina de Arena (Juan Chávez com. per. 1996) (Aguirre et al., 2002).

La Mina o cantera de ripio negro en la isla Floreana, proporciona un sistema de estudio ideal para explorar el potencial de restauración ecológica en las islas Galápagos. Entre los años 2014 y 2021, una porción de la cantera fue intervenida como parte de la iniciativa de restauración ecológica del Proyecto Galápagos Verde 2050, con la siembra de 317 individuos de 18 especies de plantas nativas o endémicas (Jaramillo et al., 2020a). Sin embargo, aún se desconoce el efecto ecológico y biológico en el ecosistema producto de esta intervención en la restauración de este sitio, una vez que se ha registrado el incremento de la presencia de fauna como aves y la visita constante de polinizadores como *Xylocopa darwini*. En las aves, por ejemplo, los individuos anidan dentro de nuestra área de estudio, sin embargo, se sigue usando y explotando activamente la mina y en muchos casos se considera que el impacto de esta actividad minera está causando el abandono de nidos, el atropello de aves por vehículos que ingresan a la Mina, e incluso la mortalidad de algunas plantas endémicas, que fueron sembradas en temporadas anteriores, con y sin tecnologías ahorradoras de agua, que han sido (Obs. Pers. Jaramillo 2021).

Afortunadamente, hay otros dos sitios dentro de la Mina donde se ha permitido que la vegetación se regenere naturalmente y es aquí en donde es muy importante investigar los efectos de los procesos de restauración, primero en un área natural, en otra área regenerada y finalmente en el área de la mina en la que aún se interviene. Es decir, se propone estudiar tres sitios en el área de estudio: uno con intervención activa del sitio de uso especial, otro dentro del área restaurada y finalmente otro en el exterior (natural), pero adyacente a la Mina o botadero de basura para cuantificar y comparar la diversidad, abundancia y riqueza de especies.

## 5. Objetivos

### Objetivo general:

Contribuir a la restauración ecológica de sitios degradados por usos e impacto humano (Mina de ripio negro y botaderos de basura) en las islas Floreana y Baltra.

### Objetivos específicos:

- Caracterizar la diversidad biológica, abundancia y riqueza de especies en la Mina de ripio Negro de Floreana y los botaderos de basura de las islas Floreana y Baltra.
- Comparar las mina y botaderos de basura estudiados de Floreana y Baltra en relación con el proceso de restauración llevado a cabo hasta ahora.
- Continuar la restauración de los sitios más afectados mediante la propagación de plántulas nativas y endémicas en sitios de uso especial utilizando tecnologías ahorradoras de agua.

## 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	1.1.3.1. Establecer un sistema de priorización para generar programas de restauración ecológica, en función del

DIRECCIÓN DEL PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS  
DIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL

	degradados, para recuperar su funcionalidad y su capacidad de generar servicios ambientales.	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.
<b>1.2 Monitoreo de Ecosistemas y su biodiversidad.</b>	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.
<b>5.1 Ciencia de la sostenibilidad e innovación tecnológica</b>	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 proceso de restauración ecológica de la Mina de Granillo Negro en Floreana ha sido un éxito durante los últimos 6 años. Sin embargo, aún tenemos varias preguntas de investigación que responder, para guiar otros procesos de restauración. Es por ello que el presente proyecto plantea un diseño experimental para abarcar tres áreas de estudio y responder a las siguientes preguntas: **1) Diversidad de plantas e insectos:** ¿Cuál es la característica de diversidad biológica (diversidad de plantas e insectos) presentes en sitios restaurados con respecto a lo que ocurre en las comunidades que se regeneran naturalmente en la Mina de Granillo (ripió) negro de Floreana y los botaderos de basura en Floreana y Baltra?; **2) Efectos del proceso de restauración:** ¿cuál es el efecto biológico y ecológico en el ecosistema producto de las acciones de restauración ecológica en el estado sucesional de las comunidades vegetales en la Mina de ripio negro de Floreana y los botaderos de basura en Floreana y Baltra?; **3) Impacto humano y explotación:** ¿Cómo se ha recuperado la integridad ecológica de sitios restaurados en función del éxito de las plántulas nativas y endémicas plantadas?

### 7.2. Metodología:

Para responder a nuestras preguntas de investigación, se trabajará dentro de las mismas áreas restauradas (tanto la Mina de Ripio Negro como los botaderos de basura en Baltra y Floreana) y en sitios cercanos, con diferentes condiciones de uso y de conservación, de forma que se pueda establecer comparación de las diferentes variables analizadas. En la Figura 1, se puede visualizar un ejemplo de las áreas de estudio en la isla Floreana.

DIRECCIÓN DEL PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS  
DIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL



Figura 1. Isla Floreana y ubicación de la Mina Granillo Negro con las áreas de estudio.

## Caracterización de la diversidad biológica

### 7.3. Parcelas de estudio:

- Mínimo 10 parcelas circulares dentro de cada sitio. Los sitios se los ubicará en un mapa utilizando el programa ArcGIS (Miller, 1999; West & Horswell, 2018).
- Las parcelas serán circulares con un diámetro de 3,18 metros (1,59 m de radio) para un área total de 10 m<sup>2</sup> (James & Shugart, 1970; Mitchell & Colleges, 2001).
- Se ubicarán aleatoriamente desde ArcGIS, lo que garantiza que los centros de las parcelas se mantengan al menos a 3 metros del borde de cada sitio.
- Se utilizará una cuerda y banderines para marcar el perímetro de la parcela para cuantificar y cubrir porcentajes de cobertura vegetal.
- Al realizar las parcelas en el sitio no intervenido (con estado de conservación óptimo), hay que asegurarse de no alterar la estructura de la vegetación dentro de las parcelas, de tal manera que la intervención humana sea mínima a la hora de registrar la información.

#### 7.3.1. Dentro de cada parcela:

- Contar el número total de tallos por encima de los 15 cm de cada especie y si detallar si están fijos sobre el suelo o no.
- Estimar el porcentaje de cobertura de cada especie y si está fija en el suelo o no. Realizar el **inventario de invertebrados** dentro de cada parcela usando múltiples métodos. El muestreo de invertebrados debe alternar entre los diferentes tipos de sitios a lo largo del día, ya que la hora del día puede influir en la abundancia de invertebrados. Se seguirá los protocolos establecidos para colectas entomológicas (Letters, 2001; Pickett & Parker, 1994; Simmons, 2002). 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

DIRECCIÓN DEL PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS  
DIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL

(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.

- Se registrará la presencia-ausencia de nidos activos de aves, así como nidos abandonados.
- Se registrará todas las especies de plantas encontradas dentro de cada parcela (indicando si cada especie está sembrada, es natural. 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 (Nualart et al., 2017). 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.
- Colectar muestras de suelo de cada parcela para su posterior análisis químico y orgánico (Chaulagain & Shrestha-Malla, 2018).
- No se cuantificará los árboles muertos en el estudio porque no hay forma de saber si fueron sembrados o no (ya que las etiquetas se quitan cuando mueren en el área restaurada).

## Continuar la restauración ecológica de los sitios más afectados

### 7.2.6. Transporte de plántulas desde el invernadero

**Isla Floreana:** el transporte de plántulas desde el invernadero hasta la Mina de Granillo Negro y el botadero de basura se hará siguiendo el Protocolo de adaptación y cuidados necesarios. Antes de iniciar la siembra en su hábitat natural, las plántulas serán colocadas bajo sombra para un proceso de pre-adaptación in-situ siguiendo los protocolos y recomendaciones de siembra para las especies de la isla (Atkinson et al., 2019; Jaramillo et al., 2020b).

**Isla Baltra:** 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 el botadero, 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., 2020a).

### 7.2.7. Uso de las tecnologías ahorradoras de agua

Continuaremos utilizando las tecnologías ahorradoras de agua que resultan mas eficientes de acuerdo a los análisis de evaluación por tecnología y especie en la Mina Granillo Negro y los dos botaderos de basura. Hasta ahora se ha utilizado Groasis Waterboxx, Hidrogel, Cocoon y Controles siguiendo el diseño experimental respectivo (Hoff, 2014; Jaramillo et al., 2020a; Land Life Company, 2015; Pedroza-Sandoval et al., 2015).

## Comparar las minas estudiadas y sus procesos de restauración

### 7.2.8. 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.

### 7.2.2. Personal y protocolos para el uso de drones

DIRECCIÓN DEL PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS  
DIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL

El uso de los drones como herramienta para el proceso de restauración ecológica que desarrolla el proyecto GV2050 contará con personal calificado y certificado, con amplia experiencia de vuelo de drones para uso científico. 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.

### 7.2.3. 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.

### 7.2.4. Análisis de imágenes aéreas

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

### 7.2.5. 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.

## 7.3. Análisis de datos

Los análisis se realizarán comparando la diversidad y riqueza de plantas e insectos entre los tres tratamientos del sitio: Regeneración natural, Control prístino y Restauración de intervención. Se utilizarán los análisis estadísticos tradicionales (Elzinga *et al.*, 1998; Perry *et al.*, 2006). 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.

Se utilizará el programa R v4.0.2 (R Core Team, 2020). Los datos recolectados en las parcelas se analizarán para generar una figura resumida sobre la densidad de las especies encontradas en los sitios de estudio. Las densidades se extrapolarán para estimar la densidad de cada especie por hectárea y además se comparará el porcentaje de cobertura natural e impactada por el hombre.

### 7.3.2. Monitoreo y seguimiento

Trimestralmente, usando la aplicación Android desarrollada para el proyecto (link para descarga: [http://www.galapagosverde2050.com/gv2050\\_4.apk](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.



DIRECCIÓN DEL PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS  
DIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL

### 7.4.1. 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.

## 8. Resultados Esperados

- Un componente crítico de estos datos será evaluar cómo varía la regeneración natural entre el área restaurada, natural y aún explotada en la Mina Granillo Negro.
- Con el análisis de los suelos podremos evaluar el estado del suelo en áreas naturales, alteradas y restauradas.
- Se completará el inventario de la entomofauna asociada a las plantas sembradas en el área restaurada, natural y aún explotada.
- Un manuscrito (peer-reviewed paper) que detallen la diversidad y riqueza de plantas e invertebrados terrestres asociados al proceso de restauración ecológica de la Mina de Granillo Negro en la isla Floreana.

## 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 propuestos y lograr contribuir a cumplimiento o no de nuestras hipótesis, trabajaremos en tres sitios alrededor de la Mina Granillo Negro (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
Floreana	Mina Restaurada	-90.4679794	-1.281102923
	Mina explotada	-90.4679543	-1.281101187
	Área natural	-90.5573215	-1.281243721

## 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

DIRECCIÓN DEL PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS  
DIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL

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).



**Figura 3.** Número de especies y plantas sembradas en la Mina Granillo negro desde el 2014 al 2020.

**Tabla 4.** Cronograma de actividades planificadas para el 2022-2023

Descripción	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Adaptación de plántulas antes de la siembra en los sitios de estudio utilizando tecnologías ahorradoras de agua												
Análisis de presencia de invertebrados y de suelo de los sitios de estudio.												
Evaluación restauración asistida en comparación a la regeneración natural en el sitio Mina Granillo Negro												
Instalación de un letrero con información del proyecto como parte de la restauración ecológica de la isla Floreana, principalmente en la Escuela Amazonas y Juan Parroquial												
Primer borrador para publicación científica del proceso de restauración ecológica de la Mina Granillo Negro												
Producción de plantas endémicas y nativas de la isla en invernadero de Floreana del GV2050												
Seguimiento fotográfico de crecimiento insitu de cada individuo y por sitio de estudio en toda la isla												
Selección y colección de plántulas y semillas de varias especies clave en estado natural de una zona árida en la isla Floreana												
Siembra y monitoreo trimestral en cada sitio de estudio												

## 12. Cantidad de colecciones de muestras:

Las colecciones que se realizaran en las parcelas establecidas en la Mina Granillo Negro se sistematizan en la Tabla 5.

DIRECCIÓN DEL PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS  
DIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL

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

Tipo de Muestra	Cantidad Estimada	Especie	Tipo de Análisis
Muestras Botánicas <b>Mina Granillo Negro (Floreana)</b>	300	Varias encontradas en todas las parcelas establecidas	Identificación de especies y colección de referencia.
Invertebrados terrestres en cada isla de estudio <b>Mina Granillo Negro (Floreana)</b>	3000	Varios grupos en cada isla	Identificación de especies y colección de referencia.
Semillas de varias especies para propagar en el invernadero de <b>Floreana</b> .	10000	<i>Cordia lutea</i> , <i>Parkinsonia aculeata</i> , <i>Opuntia megasperma</i> , <i>Lippia salicifolia</i> , <i>Lecocarpus pinnatifidus</i> , <i>Scalesia pedunculata</i> , <i>Scalesia villosa</i> , <i>Castela galapageia</i> , <i>Darwiniothmanus tenuifolius</i> , <i>Volkameria molle</i> , <i>Psidium galapageium</i> y <i>Tournefortia rufo-sericea</i>	Ensayos de germinación y producción de plántulas.
Plántulas, semillas para germinación insitu <b>(Floreana)</b> .	5000	<i>Cordia lutea</i> , <i>Parkinsonia aculeata</i> , <i>Opuntia megasperma</i> , <i>Lippia salicifolia</i> , <i>Lecocarpus pinnatifidus</i> , <i>Scalesia pedunculata</i> , <i>Scalesia villosa</i> , <i>Castela galapageia</i> , <i>Darwiniothmanus tenuifolius</i> , <i>Volkameria molle</i> , <i>Psidium galapageium</i> y <i>Tournefortia rufo-sericea</i> .	Producción de plántulas, crecimiento y pre-adaptación en vivero forestal de Santa Cruz
Muestras de suelo de cada parcela	200	Suelo de varios sustratos	Análisis de nutrientes

### 13. Bibliografía

- Aguirre, O., Brito, M., & Martínez, R. (2002). *Plan regional para la conservación y el desarrollo sustentable de Galápagos*.
- Atkinson, R., Guézou, A., & Jaramillo, P. (2019). Siémbreme en tu Jardín: Jardines nativos para la conservación de Galápagos. In *Fundación Charles Darwin*.
- 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*.
- Buddenhagen, C. E., & Tye, A. (2015). Lessons from successful plant eradications in Galapagos: commitment is crucial. *Biological Invasions*, 17(10), 2893–2912. <https://doi.org/10.1007/s10530-015-0919-y>
- 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. (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. (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*.
- Elzinga, C. L., Salzer, D. W., & Willoughby, J. W. (1998). Measuring & monitoring plant populations. *U.S. Department of the Interior, Bureau of Land Management*, 492.

DIRECCIÓN DEL PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS  
DIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL

- Gibbs, J. P. (2013). *Restoring Isla Baltra's Terrestrial Ecosystems: A Prospectus* (pp. 1–16).
- 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).
- Hicks, D. J., & Mauchamp, A. (1999). *Population Structure and Growth Patterns of Opuntia echios var. gigantea along an Elevational Gradient in the Galapagos Islands*.
- Hoff, P. (2014). *Groasis technology: manual de instrucciones de plantación*. 27.
- Hunt, E. R., Doraiswamy, P. C., McMurtrey, J. E., Daughtry, C. S. T., Perry, E. M., & Akhmedov, B. (2012). A visible band index for remote sensing leaf chlorophyll content at the Canopy scale. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2012.07.020>
- INEC. (2010). *Instituto Nacional de Estadística y Censo: VII Censo de Población y VI de Vivienda*.
- INGALA, PRONAREG, & ORSTOM. (1989). Inventario Cartográfico de los Recursos Naturales, Geomorfología, Vegetación, Hídricos, Ecológicos y Biofísicos de las Islas Galápagos, Ecuador. *1:100,000 Maps. INGALA, Quito*, 159. [https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/divers14-09/30194.pdf](https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers14-09/30194.pdf)
- James, F. C., & Shugart, H. H. (1970). A quantitative method of habitat description. In *Audubon Field Notes* (Vol. 24, Issue 6, pp. 727–736).
- Jaramillo, P. (1999). *Impact of Human Activities on the Native Plant Life in Galapagos National Park*. <https://doi.org/10.1201/9781420005134.ch21>
- Jaramillo, P., Lorenz, S., Ortiz, G., Cueva, P., Jiménez, E., Ortiz, J., Rueda, D., Freire, M., & Gibbs, J. (2015). Galápagos Verde 2050 : Una oportunidad para la restauración de ecosistemas degradados y el fomento de una agricultura sostenible en el archipiélago. *Informe Galapagos 2013-2014*, 132–143.
- Jaramillo, P., Tapia, W., & Gibbs, J. P. (2017). *Plan de Acción para la Restauración Ecológica de las Islas Baltra y Plaza Sur*.
- Jaramillo, P., Tapia, W., Negoita, L., Plunkett, E., Guerrero, M., Mayorga, P., & Gibbs, J. P. (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*.
- Land Life Company. (2015). *Benefits of the COCOON technology*. Available at <https://landlifecompany.com>.
- Letters, E. (2001). *Quantifying biodiversity : procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness*. *May 1988*, 379–391.
- 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*.
- Menéndez, Y., & Jaramillo, P. (2015). *Manual de usuario: Plataforma Virtual de Administración del Proyecto Galápagos Verde 2050*.
- Miller, H. J. (1999). Potential contributions of spatial analysis to geographic information systems for transportation (GIS-T). *Geographical Analysis*, 31(4), 373–399. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1999.tb00991.x>
- Mitchell, K., & Colletes, W. S. (2001). *Quantitative Analysis by the Point-Centered Quarter Method*.
- 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>
- Nualart, N., Ibáñez, N., Soriano, I., & López-Pujol, J. (2017). Assessing the Relevance of Herbarium Collections as Tools for Conservation Biology. *The Botanical Review*, 83, 303–325.
- Pedroza-Sandoval, A., Yáñez-Chávez, L. G., Sánchez-Cohen, I., & Samaniego-Gaxiola, J. A. (2015). Efecto del hidrogel y vermicomposta en la producción de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 38(4), 375–381. <https://doi.org/10.35196/rfm.2015.4.375>
- Perry, G. L. W., Miller, B. P., & Enright, N. J. (2006). A comparison of methods for the statistical analysis of spatial point patterns in plant ecology. *Plant Ecology*, 187(1), 59–82. <https://doi.org/10.1007/s11258-006-9133-4>
- Pickett, S. T., & Parker, T. (1994). Avoiding the Old Pitfalls: Opportunities in a New Discipline. *Restoration Ecology*, 2, 75–79.
- 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/>.
- Simmons, J. E. (2002). *Collections Management*.
- 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>
- Torsten, U., Larrea, I., Butt, K. M., & Chitwood, J. (2010). *Plan de manejo de desechos para las islas Galápagos*. WWF.
- West, H., & Horswell, M. (2018). GIS has changed! Exploring the potential of ArcGIS online. *Teaching Geography*, 43(1), 22–24.

## 14. Coordinación y firma de Responsabilidad

DIRECCIÓN DEL PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS  
DIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL

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