

Estructura forestal y estimación de carbono en bosque bajo restauración con la especie *Scalesia pedunculata* en la isla Santa Cruz, Galápagos, Ecuador.

Forest structure carbon estimation in forest under restoration with the species *Scalesia pedunculata* on Santa Cruz Island, Galápagos, Ecuador.

María Fernanda Ojeda Azogue¹, Martha Alexandra Saltos Verdezoto¹, Segundo Bolier Torres Navarrete¹

<https://doi.org/10.59410/PREPRINT-UEA-vFOR2424ep01-284>



Resumen

EL 60 % de la flora de las Islas Galápagos es introducida y algunas de estas especies se han vuelto invasoras, afectando gravemente los ecosistemas de especies endémicas como es el caso del bosque de *Scalesia pedunculata*. El objetivo de esta investigación fue evaluar la abundancia, estructura forestal y estimación de carbono en bosques bajo restauración con la especie *Scalesia pedunculata* en la Isla Santa Cruz, Galápagos, Ecuador. Estos análisis contribuyen a comprender las iniciativas de restauración ecológica pueden ser herramientas efectivas para combatir los desafíos ambientales y reforzar la sostenibilidad en regiones insulares únicas como Galápagos. Busca caracterizar la densidad de individuos, estimar la biomasa aérea y analizar la relación entre la estructura del bosque y la captura de carbono, para ello se implementaron diez transectos de muestreo, adaptando las parcelas a un tamaño de 100X10 m siendo cada parcela de 0.1 ha (1000 m²), lo que permitió un inventario forestal detallado. Se estimó que el bosque tiene un promedio de 514 toneladas de biomasa por hectárea. Los resultados indican que el bosque restaurado tiene un potencial de 887 toneladas de CO₂ eq (T/ha). Se observó que a medida que aumenta el diámetro de los árboles también lo hace la biomasa y el carbono almacenado, destacando la importancia de mantener una diversidad de tamaños de árboles para la resiliencia del ecosistema. Se concluye que la restauración del bosque de *S. pedunculata* no solo es crucial para preservar la biodiversidad, sino que representa una estrategia efectiva para mitigar el cambio climático.

Palabras clave

estructura forestal, restauración, carbono, CO₂eq, islas Galápagos

Abstract

The 60% of the flora of the Galapagos Islands is introduced and some of these species have become invasive, seriously affecting the ecosystems of endemic species such as the *Scalesia pedunculata* forest. The objective of this research was to evaluate the abundance, forest structure and carbon estimation in forests under restoration with the species *Scalesia pedunculata* on Santa Cruz Island, Galapagos, Ecuador. These analyses contribute to understanding that ecological restoration initiatives can be effective tools to combat environmental challenges and reinforce sustainability in unique island regions such as Galapagos. It seeks to characterize the density of individuals, estimate aboveground biomass and analyze the relationship between forest structure and carbon capture. For this purpose, ten sampling transects were implemented, adapting the plots to a size of 100X10 m, each plot being 0.1 ha (1000 m²), which allowed a detailed forest inventory. The forest was estimated to have an average of 514 tons of biomass per hectare. The results indicate that the restored forest has a potential of 887 tons of CO₂ eq (T/ha). It was observed that as the diameter of the trees increases, so does the biomass and stored carbon, highlighting the importance of maintaining a diversity of tree sizes for ecosystem resilience. It is concluded that the restoration of the *S. pedunculata* forest is not only crucial to preserve biodiversity, but represents an effective strategy to mitigate climate change.

Keywords

forest structure, restoration, carbon, CO₂eq, Galápagos Islands

Direcciones

¹ Universidad Estatal Amazónica. Pastaza, Ecuador. mf.ojedaa@uea.edu.ec; for2017124@uea.edu.ec; btorres@uea.edu.ec

Autor para la correspondencia

María Fernanda Ojeda Azogue. Universidad Estatal Amazónica. Pastaza, Ecuador. email: mf.ojedaa@uea.edu.ec

Como citar

OJEDA AZOGUE, M. F., SALTOS VERDEZOTO, M. A. and TORRES NAVARRETE, S. B., 2024. Estructura forestal y estimación de carbono en bosque bajo restauración con la especie *Scalesia pedunculata* en la isla Santa Cruz, Galápagos, Ecuador. PrePrint UEA. 2024. Vol. FOR2424, ep01-284. <https://doi.org/10.59410/PREPRINT-UEA-vFOR2424-ep01-284>.

Editores Académicos

Darwin Javier Sucoshañay Villalba

Editorial

Editorial de la Universidad Estatal Amazónica
2024

Copyright:

Derechos de autor 2024-2024 UEA | PrePrint UEA

Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución 4.0. 
Los autores del artículo autorizan a PrePrint UEA, a que este artículo se distribuya y sea compartido bajo las condiciones de la Licencia Creative Commons 4.0 (CC-BY 4.0)

1. Introducción

Más del 60 % de la flora de las Islas Galápagos es introducida (Walentowitz et al., 2021), y algunas de estas especies se han vuelto invasoras, afectando

gravemente los ecosistemas de especies endémicas como es caso de los bosques del género *Scalesia*. Estos bosques originalmente fueron dominados por el gigante endémico, el árbol margarita *Scaecia*

pedunculata. Actualmente, los parches remanentes de este bosque único están siendo invadidos cada vez más por plantas introducidas, principalmente por *Rubus niveus* (zarzamora, familia Rosaceae).

Los bosques de *Scalesia* en las Galápagos, al igual que los bosques de Sudamérica continental, son ambientes extremadamente biodiversos que albergan una notable cantidad de especies de plantas endémicas (Provencio, 2022). El bosque de *Scalesia* en la isla Santa Cruz destaca como el más amplio entre todas las islas de las Galápagos, ubicado cerca de los cráteres conocidos como “Los Gemelos” en la región húmeda de la isla (Lundh, 2023). El género *Scalesia*, también es conocida como “las margaritas gigantes de Darwin” (Provencio, 2022), consta de 15 especies de árboles y arbustos, *S. atractyloides*, *S. affinis*, *S. aspera*, *S. baurii*, *S. cordata*, *S. crockeri*, *S. divisa*, *S. gordilloi*, *S. helleri*, *S. incisa*, *S. microcephala*, *S. villosa*, *S. retroflexa*, *S. stewartii* y *S. pedunculata* (Fundación Charles Darwin para las Islas Galápagos, 2022).

Scalesia pedunculata, como especie endémica de las Islas Galápagos, juega un papel crucial en la conservación de la biodiversidad única del archipiélago (Figura 1). La integridad de los bosques de *Scalesia* es vital para la supervivencia de numerosas especies nativas y endémicas que dependen de estos hábitats para su alimentación y reproducción. La restauración de los parches remanentes de *Scalesia* no solo es esencial para preservar su rol ecológico como especie clave en el ecosistema, sino también para mantener la estructura y funcionalidad del bosque frente a las amenazas de especies invasoras y el cambio climático.

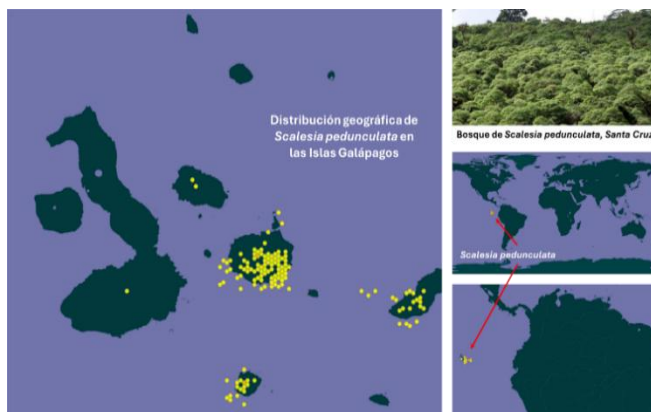


Figura 1 | Distribución geográfica de la especie endémica *S. pedunculata* en las Islas Galápagos. Fuente: página electrónica GBIF (accedido el 08 de agosto, 2024).

Scalesia pedunculata Hook. fil., de la familia Asteraceae, es de porte arbóreo, dominante en términos de densidad y biomasa en elevaciones medias (150-900 m.s.n.m.) en hábitats mesófilos (Velasco y Jaramillo, 2024). Esta especie presenta episodios recurrentes de mortalidad masiva, caracterizados por la muerte simultánea de múltiples individuos, presuntamente asociados a eventos climáticos

extremos con una periodicidad estimada de 15-20 años (Runkle y Runkle 2005).

El Parque Nacional Galápagos (PNG) lleva a cabo programas de restauración centrados en la *S. pedunculata*, los cuales son cruciales para mejorar la resiliencia ecológica del archipiélago (Jaramillo et al., 2020). Estas actividades no solo promueven la regeneración natural y la reforestación asistida de zonas deterioradas, sino que también son clave para proteger la diversidad de especies nativas y aumentar el secuestro de carbono, contribuyendo así a mitigar los efectos del cambio climático. Adicionalmente, la preservación y restauración de los bosques de *Scalesia* es vital para las estrategias de conservación del agua, dado que estos ecosistemas son esenciales en la captación de neblina y en la regulación del microclima local. Al final, mantener la integridad de la especie *S. pedunculata* resulta fundamental para la sostenibilidad ambiental y la protección del singular patrimonio natural de las Islas Galápagos.

La investigación se llevó a cabo en una zona de restauración con aproximadamente ocho años de intervención, ubicada en el sector Los Gemelos, parroquia Santa Rosa, cantón Santa Cruz de las Islas Galápagos. El estudio consistió en examinar la estructura del bosque y su capacidad de secuestrar carbono, destacando estos elementos como cruciales ante la creciente alarma global por las emisiones de gases de efecto invernadero y sus consecuencias en el cambio climático. Este análisis contribuye a una mejor comprensión de cómo las iniciativas de restauración ecológica pueden ser herramientas efectivas para combatir los desafíos ambientales actuales y reforzar la sostenibilidad en regiones insulares únicas como Galápagos.

En este contexto, el presente estudio tiene como objetivo general evaluar la abundancia, estructura forestal y estimación de carbono en bosques bajo restauración con la especie *Scalesia pedunculata* en la Isla Santa Cruz, Galápagos, Ecuador. Para ello, se plantean tres objetivos específicos: a) Caracterizar la estructura forestal y densidad de individuos en el bosque de *Scalesia pedunculata*; b) Estimar la biomasa aérea y el carbono almacenado en el bosque de *Scalesia pedunculata* en la Isla Santa Cruz y, c) Analizar la estructura del bosque y su relación con la captura de carbono. Estos objetivos buscan proporcionar una visión integral y detallada sobre la estimación de carbono y estructura del bosque bajo restauración en la Isla Santa Cruz y desafíos del cambio climático.

2. Metodología

2.1. Ubicación geográfica de los transectos implementados

El estudio se realizó en un bosque bajo restauración con la especie: *Scalesia pedunculata*, en la Isla Santa Cruz, Parroquia Santa Rosa, sector Los Gemelos (**Figura 2**). Se seleccionaron sitios restaurados por el Parque Nacional Galápagos hace ocho años, las coordenadas geográficas IS M 0790662 UTM 9930348, Altura 700 msnm.

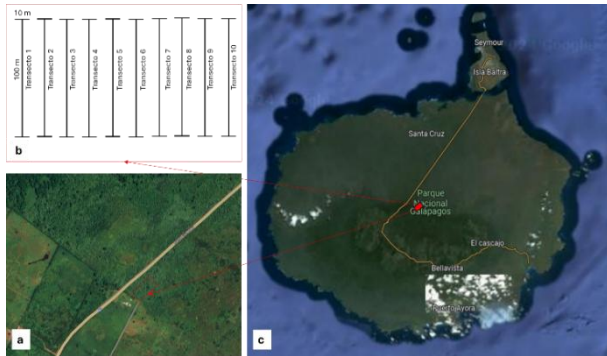


Figura 2 | Mapa de la ubicación geográfica de la zona de estudio, en sitios restaurados con la especie *S. pedunculata*: a) sitio de investigación, sector Los Gemelos, Santa Cruz, Islas Galápagos, b) Transectos temporales implementados, c) Isla Santa Cruz mostrando el sitio bajo restauración en el sector Los Gemelos. Fuente: <https://www.google.com/maps> (accedido el 08 de agosto, 2024).

2.2. Condiciones edafoclimáticas

La isla se caracteriza por un clima bimodal, con una estación cálida de enero a mayo y una fría de junio a diciembre, que influye en la distribución de las precipitaciones: en la estación cálida predominan en la costa, mientras que en la fría las zonas altas reciben más lluvia; el suelo, formado a partir de material volcánico, varía según la altitud; en las áreas altas, donde la precipitación es mayor, los suelos son más desarrollados y húmedos, mientras que las zonas bajas son más áridas; mientras que, la hidrología se ve afectada por la topografía volcánica, careciendo de corrientes superficiales permanentes, por lo que el acuífero basal, recargado por la lluvia, es la principal fuente hídrica (Pérez, 2020).

2.3. Tipo y diseño de investigación

El estudio tuvo un diseño no experimental debido a que no se manipularon variables independientes, fue de tipo cuantitativo debido a la aplicación de técnicas de medición y análisis numérico como el conteo de especies, así como la estimación de biomasa y carbono; además, presentó un corte transversal al haberse realizado las mediciones en un lapso determinado. También fue de tipo descriptivo ya que permitió describir la situación actual del contenido de carbono de la biomasa forestal, así como de tipo correlacional al relacionarse los niveles de captura de carbono con los tamaños de los árboles (Sampieri et al., 2014).

2.4. Levantamiento de la información

Se implementaron diez unidades de muestreo rectangular denominados transectos, que son usados

generalmente en muestreos rápidos de tipo exploratorio, llamado muestreo tipo Gentry (Gentry, 1988). Modificando las originales de 500×2 m a parcelas de 100×10 m siendo cada parcela de 0,1 ha (1000 m^2) propuesto por Torres et al. (2020). Para ello se estableció inicialmente el eje central y se tomó cinco metros de cada lado, donde se ubicaron los individuos con diámetros mínimos para levantar el inventario forestal. Dentro de estas parcelas se tomaron datos de todos los individuos mayor o igual a 4 cm de DAP (**Figura 3**).

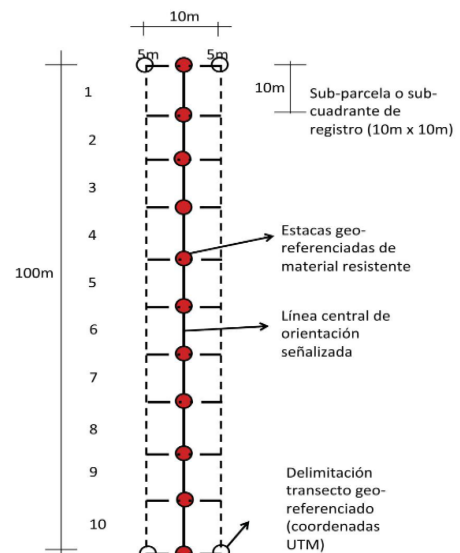


Figura 3 | Modelo de parcela (transecto o cuadrante). Fuente: Torres et al. (2020).

2.5. Cálculos de la estructura forestal y densidad de individuos

Para calcular la estructura forestal se realizó un ordenamiento de clases diamétricas de menor a mayor por transectos, luego se realizó un sumatorio total por transectos (**Figura 4**). Para calcular la densidad de individuos primero se realizó la sumatoria total de todos los transectos de cada clase diamétrica, para luego calcular el total de los individuos, utilizando la siguiente fórmula:

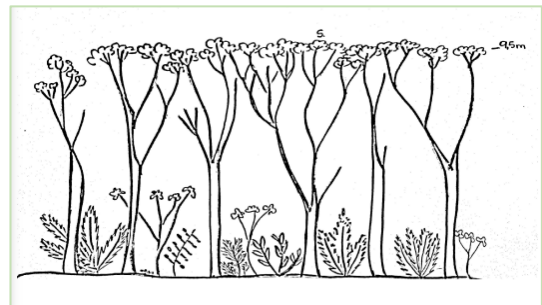


Figura 4 | Estructura forestal del bosque de *S. pedunculata* sector los gemelos, Santa Cruz, Islas Galápagos. Fuente: <https://www.darwinfoundation.org/>

- Suma (Transecto# (clase diamétrica de menor a mayor))
- Nro. individuos = (sumatoria de los 10 transectos de cada clase diamétrica)
- Nro. Individuos = (sumatorio total de individuos)

2.6. Evaluación de la biomasa sobre el suelo (BSS)

La elección del modelo matemático para estimar la biomasa permitió calcular el potencial de carbono (C) y de Dióxido de Carbono equivalente (CO₂eq). La presente investigación utilizó el método indirecto no destructivo generalmente aplicado a componentes vegetales arbóreos y arbustivos en zonas de importancia ecológica con el uso de ecuaciones alométricas y datos dasométricos como el diámetro a la altura de pecho (DAP). Se utilizó la ecuación alométrica de Chave et al. (2005) recomendada para especies de bosque tropicales, la biomasa seca viva sobre el suelo (BSS) en toneladas métricas de un árbol individual, se calculó en base a la fórmula:

$$B_{\text{árbol}} = (p \cdot \exp(-1.499 + (2.148 \cdot \ln(D))) + (0.207 \cdot \ln(D)^2) - (0.0281 \cdot \ln(D)^3)) \cdot 0.001$$

Dónde: D = es el diámetro a la altura del pecho (cm).

p = es la densidad de madera (g/cm³)

Luego a partir de la biomasa seca viva se calculó el contenido de carbono (C), considerando el 0.5 del resultado del cálculo de la biomasa aérea (Penman et al., 2003).

2.7. Cálculo del dióxido de carbono equivalente CO₂eq

Se estimó el dióxido de carbono equivalente (CO₂eq) empleando el factor de 44/12 ≈ 3,67; este factor resulta de dividir el peso atómico de una molécula de dióxido de carbono, por el peso específico del carbono (Penman et al., 2003). Es decir, se multiplicó la cantidad de toneladas de carbono que almacenan los bosques por 3.67, el cual se realizó de la siguiente manera:

- CO₂ fijado = C × (44/12);
- CO₂eq = C * PMCO₂eq / PMC (2)
- PMCO₂eq = Peso molecular del dióxido de carbono (44)
- PMC = Peso molecular del carbono (12)
- Dióxido de carbono equivalente (CO₂eq) = C * 3,67

Tabla 1 | Datos dasométricos de los 10 transectos temporales de 1000 m² implementados en bosques restaurados con *S. pedunculata* en el sector Los Gemelos, Santa Cruz, Galápagos (2024).

Transectos	Individuos	Promedio.	DAP (cm)		Promedio	Altura total (m)		
			Máx.	Mín.		Máx.	Mín.	
T1	178	8,89	21,49		4,14	7,19	8,5	6
T2	169	8,28	20,85		4,62	7,10	8,5	7
T3	288	8,88	23,24		4,14	7,15	8,5	7
T4	190	8,60	24,83		4,68	7,22	8,5	7
T5	178	7,17	16,23		4,77	7,24	8,5	7
T6	85	8,94	19,58		4,87	7,18	9,0	4
T7	158	11,02	24,35		5,09	7,82	9,5	7
T8	254	7,74	24,83		4,77	7,46	9,5	7
T9	204	8,94	24,57		5,03	7,34	9,5	7
T10	122	8,16	19,19		5,16	7,86	9,0	7

La estructura forestal y el número de individuos por sus clases diamétricas que representa el bosque de

3. Resultados y discusión

3.1. Estructura forestal y densidad de individuos

La estructura del bosque de *Scalesia pedunculata* en el sector los Gemelos, Isla Santa Cruz, muestra su variabilidad en el tamaño de los árboles en cada transecto donde se realizó el levantamiento de los datos dasométricos de los árboles, las coordenadas X y Y indica la ubicación de cada transecto ya que es muy importante para Geolocalización y el análisis espacial. El DAP (cm) y la Altura es fundamental para evaluar la salud del bosque y su capacidad de regeneración y su potencial para el secuestro de carbono (**Tabla 1**). El diámetro promedio de los árboles en los 10 transectos es de 8,63 cm, indica que es un bosque en regeneración, mientras que el diámetro máximo es de 24,83 cm. La altura total promedio de los árboles es de 7,19 m, no obstante, la altura total máximo y mínimo muestra un rango de 8,5 m y 6 m en los 10 transectos establecidos. Los resultados obtenidos muestran que este bosque de regeneración y su estructura forestal junto con la densidad son heterogéneas.

El número de individuos por las clases diamétricas en los diferentes transectos (Figura 5). Proporciona una visión clara del bosque de *Scalesia pedunculata*, la cual muestra que está en proceso de regeneración con muchos árboles jóvenes creciendo en las clases diamétricas más pequeñas (4 a ≤10 cm de DAP), Este es un signo positivo de crecimiento y restauración del bosque. Porque a medida que aumentan las clases diamétricas el número de individuos disminuye considerablemente. Esto indica que hay menos árboles maduros en el bosque, lo que podría ser un reflejo de la etapa temprana de restauración en la que se encuentra el bosque o, en parte, un indicio de mortalidad en árboles.

Scalesi p. (Figura 6). muestra la cantidad de árboles presentes en cada clase diamétrica. En las clases más

pequeñas de 4 a ≤ 10 muestra que hay una buena regeneración de árboles jóvenes lo mismo que es algo positivo para la salud del bosque, mientras que en la clase más grande que es ≥ 15 a ≤ 20 muestra que hay menos árboles maduros, lo que puede ser un signo de problemas en la salud del bosque indicando la mortalidad de los mismos y la falta de regeneración.

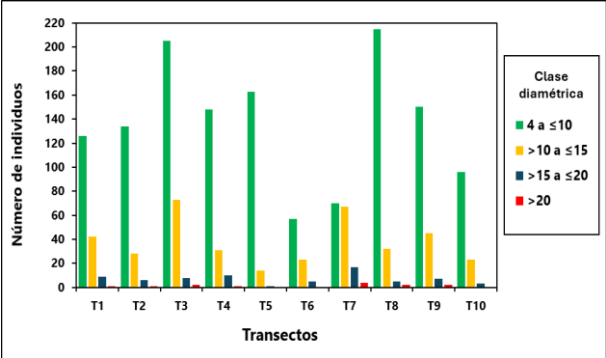


Figura 5 | Número de individuos por clase diamétrica en los 10 transectos de 1000 m² implementados en bosques restaurados con *S. pedunculata* en el sector Los Gemelos, Santa Cruz, Galápagos (2024).

Según Velasco y Jaramillo (2024), *Scalesia pedunculata* ha experimentado una pérdida significativa de hábitat en las tierras altas de Galápagos. Por consiguiente, existe una necesidad crítica de realizar investigaciones continuas y ampliadas para verificar si estas tendencias positivas persisten en el largoplazo, garantizando así la restauración efectiva y sostenibilidad de *Scalesia pedunculata* en las tierras altas de Galápagos.

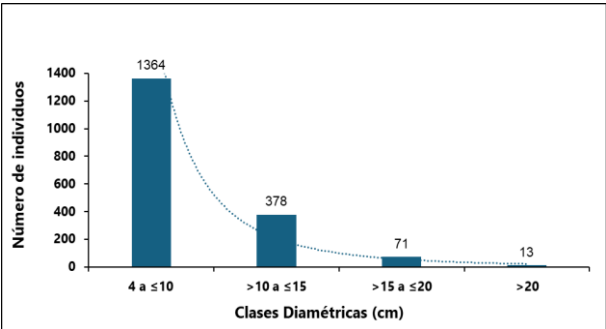


Figura 6 | Estructura forestal, representada en el número de individuos por clase diamétrica en transectos de 1000 m² en bosques restaurados con *S. pedunculata* en el sector Los Gemelos, Santa Cruz, Galápagos (2024).

3.2. Biomasa y carbono almacenado en el bosque de *Scalesia pedunculata*

El bosque de *S. pedunculata* presenta un potencial para actuar como sumidero de carbono, aquí se muestra que a medida que aumenta el diámetro de los árboles, también aumenta la biomasa, el carbono y el CO₂eq, esto es normal porque los árboles más grandes almacenan más carbono (**Figura 7**). Velasco y Jaramillo (2024) mencionan que alrededor de la mitad del carbono secuestrado está en el sistema de raíces en la mayoría de los tipos de bosque. Se han realizado algunos intentos específicos para modelar el secuestro de carbono subterráneo en *S. pedunculata*. Por ejemplo, la biomasa subterránea se ha estimado que alrededor del 15% dado el sistema de raíces de las plantas, aunque los modelos de secuestro de carbono que dan cuenta de la biomasa subterránea son todavía demasiado incipientes e insuficientes para producir modelos confiables.

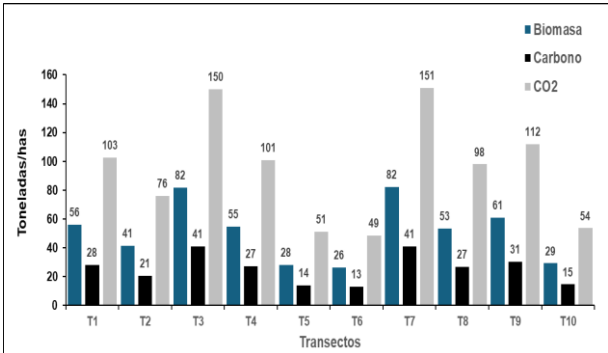


Figura 7 | Biomasa, carbono y CO₂eq en toneladas/ha estimados en 10 transectos temporales implementados en bosques restaurados con *S. pedunculata* en el sector Los Gemelos, Santa Cruz, Galápagos (2024).

La estimación de Biomasa, Carbono y CO₂eq en toneladas por hectáreas en un bosque bajo restauración con *Scalesia Pedunculata* (**Tabla 2**). Indica como está estructurada y clasificada los diámetros la misma que está dividida por el rango del diámetro de los árboles. Las clases diamétrica más pequeña (4 a ≤ 10 cm) tuvo el mayor número de individuos (13,640), pero la biomasa y el carbono total son más altos en las clases mayores, la suma total de la Biomasa, Carbono y CO₂eq para todas las clases muestra que el bosque tiene potencial significativo para el secuestro de carbono con un promedio total de 887(T/ha) de CO₂eq. según Mosquera (2011) destaca la variabilidad en la estimación de la biomasa aérea (BA) en la región de Salero.

Tabla 2 | Biomasa, carbono y CO₂eq en toneladas/ha estimados por clases diamétricas y total en toneladas por hectárea en bosques restaurados con *S. pedunculata* en el sector Los Gemelos, Santa Cruz, Galápagos

Clases diamétricas	Individuos	Biomasa (T/ha)	Carbono (T/ha)	CO ₂ eq (T/ha)
4 a ≤10	13,640	190	89	327
>10 a ≤15	3,780	198	93	341
>15 a ≤20	710,000	92	43	159
> 20	130,000	34	16	59
Total (ha)	18260,000	514	242	887

El Chocó, utilizando modelos alométricos, lo cual ha sido corroborado por otros estudios. Las ecuaciones alométricas convencionales, que a menudo se basan únicamente en el diámetro a la altura del pecho (DAP), pueden generar errores significativos al no considerar variaciones en la arquitectura y densidad de la madera de las especies, especialmente en bosques con alta biodiversidad (Chave et al., 2003). Sin embargo, al analizar la biomasa total a nivel de bosque, las estimaciones tienden a compensarse, resultando en márgenes de error aceptables para fines técnicos. Esto sugiere la necesidad de ajustar los modelos de acuerdo con las características específicas de cada ecosistema para mejorar la precisión de las estimaciones de BA.

3.3. Estructura del bosque y su relación con la captura de carbono

A medida que incrementa el diámetro de los árboles, tanto la biomasa como el carbono almacenado tiende a aumentar. La clase diamétrica más grande que es >20 cm muestra una baja cantidad de biomasa y carbono, debido al número menor de individuos. Mientras que en la clase intermedia >10 a ≤15 cm tiene un aumento notable tanto en biomasa como en carbono. La variabilidad en las clases diamétricas sugiere que un bosque saludable debe tener una combinación de tamaño de árboles lo que ayuda a la resiliencia del ecosistema (Figura 8).

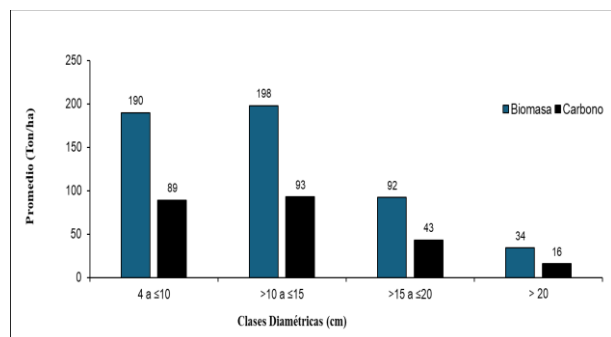


Figura 8 | Biomasa y carbono en toneladas/ha por clase diamétrica en bosques restaurados con *S. pedunculata* el sector Los Gemelos, Santa Cruz, Galápagos (2024).

El carbono promedio de la biomasa muestra la cantidad de carbono almacenado en la biomasa forestal (Figura 9). Un valor alto indica que el bosque es efectivo en la captura de carbono, lo que es crucial para mitigar el cambio climático. La misma que relacionando las dos variables hay una correlación positiva entre el número de individuos y el carbono almacenado porque a medida que aumenta el número de árboles, también aumenta la biomasa y por ende el carbono almacenado. Según la Organización Internacional de las Maderas Tropicales (ITTO, por sus siglas en inglés) el carbono puede ser capturado mediante el crecimiento de los bosques, la reforestación y la restauración (ITTO, 2024). El manejo forestal sostenible garantiza que las reservas

de carbono de los bosques se mantengan a largo plazo evitando su degradación. La explotación sostenible de los bosques para la obtención de productos de madera también puede aumentar el almacenamiento mundial de carbono.

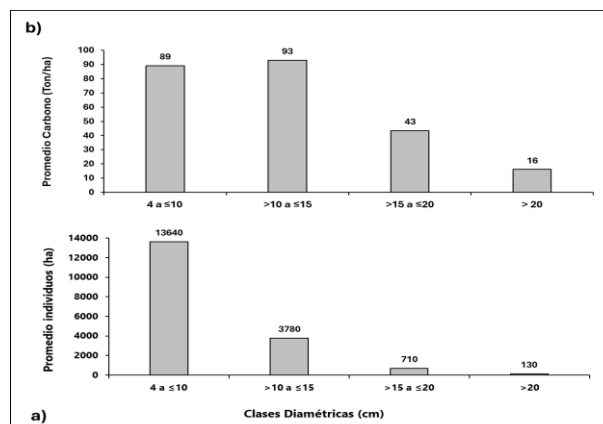


Figura 9 | Promedio de: a) individuos por hectárea y, b) carbono de la biomasa forestal en toneladas/ha en bosques restaurados con *S. pedunculata* en el sector Los Gemelos, Santa Cruz, Galápagos (2024).

4. Conclusiones

La caracterización de la estructura forestal y la densidad poblacional de *S. pedunculata* en el bosque revela una notable variabilidad en la densidad de individuos, con un total de 18 260 individuos por hectárea. Esta alta tasa de regeneración es indicativa de un proceso ecológico favorable que asegura la perpetuidad del bosque y su capacidad de secuestro de carbono a largo plazo. A medida que los árboles incrementan su diámetro, también aumenta su capacidad para almacenar carbono, destacando la relevancia de mantener una estructura forestal heterogénea en cuanto a tamaño y edad de los individuos. Esto favorece la resiliencia del ecosistema frente a amenazas como la invasión de especies invasoras, en particular *Rubus niveus*, que comprometen la integridad de los ecosistemas nativos. Este escenario resalta la urgencia de implementar estrategias de conservación específicas para mitigar los impactos del cambio climático y preservar la biodiversidad.

Al estimar la biomasa aérea y el carbono almacenado en el bosque de *S. pedunculata* en la Isla Santa Cruz, se concluye que el bosque tiene un promedio total de 514 toneladas de biomasa por hectárea, de las cuales aproximadamente el 50 % corresponde a carbono almacenado, es decir, 887 toneladas de CO₂eq por hectárea. Estos bosques únicos, particularmente en el sector de Los Gemelos, tienen un potencial significativo de secuestro de carbono, esta capacidad de secuestro destaca la importancia del bosque de *S. pedunculata* como un sumidero de carbono y subraya su papel fundamental en la mitigación del cambio

climático. La restauración del bosque de *S. pedunculata* no solo es clave para conservar su biodiversidad única, sino también para maximizar la captura de carbono, lo que lo convierte en un elemento crucial en los esfuerzos para combatir las emisiones de gases de efecto invernadero.

El análisis de la estructura del bosque y su relación con la captura de carbono revela una estrecha correlación entre la diversidad diamétrica y la capacidad de almacenamiento de carbono. Los árboles de mayor diámetro, aunque menos numerosos en comparación con los de clases diamétricas menores, almacenan significativamente más carbono por individuo. A medida que aumenta el diámetro arbóreo, también lo hacen la biomasa y el carbono almacenado, destacando la importancia de una estructura forestal heterogénea para maximizar la capacidad del bosque

como sumidero de carbono. La alta densidad de árboles jóvenes es un indicador de un proceso de regeneración activo, lo que fortalece la resiliencia del bosque. Este dinamismo resalta el papel vital de los ecosistemas forestales, como los bosques de *Scalesia*, en la mitigación del cambio climático y en la preservación de la biodiversidad endémica del archipiélago de las Galápagos. La restauración forestal, más que un esfuerzo ecológico, es un compromiso con la conservación del patrimonio natural de las islas, estableciendo un referente global para la protección de ecosistemas vulnerables frente a los retos ambientales contemporáneos.

Se recomienda para investigaciones futuras realizar la ecuación alométrica para la especie *S. pedunculata*, ya que en esta investigación se usó la ecuación general de especies tropicales.

Agradecimiento Agradecemos a la Dirección del Parque Nacional Galápagos por el invaluable apoyo brindado durante la realización de este estudio. El acceso como voluntaria tesista la Srta. María Fernanda Ojeda Azogue a la información histórica y bibliográfica, así como el permiso de investigación y el apoyo logístico en campo, fueron fundamentales para llevar a cabo este trabajo.

Contribuciones de los autores **María Fernanda Ojeda Azogue:** Adquisición, y análisis de los datos; redactó el manuscrito, aprobó la versión enviada y la versión sustancialmente editada
Martha Alexandra Saltos Verdezoto: Adquisición, y análisis de los datos; redactó el manuscrito, aprobó la versión enviada y la versión sustancialmente editada
Segundo Bolier Torres Navarrete: Concepción del trabajo; aprobó la versión enviada y la versión sustancialmente editada

Conflicto de intereses de los autores Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

5. Referencias

CHAVE, J. et al., 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*. Vol. 145, no. 1, pp. 87–99. DOI 10.1007/s00442-005-0100-x.

FUNDACIÓN CHARLES DARWIN PARA LAS ISLAS GALÁPAGOS, 2022. Base de Datos de las Especies de Galápagos. Fundación Charles Darwin para las Islas Galápagos [online]. 2022. Retrieved from: <https://datazone.darwinfoundation.org/es/checklist/>

GENTRY, Alwyn H., 1988. Changes in Plant Community Diversity and Floristic Composition on Environmental and Geographical Gradients. *Annals of the Missouri Botanical Garden*. Vol. 75, no. 1, pp. 1–34. DOI 10.2307/2399464.

LUNDH, Jacob, 2023. Notas sobre las Islas Galápagos [online]. Fundación Charles Darwin. Retrieved from: <https://www.aacademica.org/edgardo.civallero/453.pdf>

ITTO, 2024. Captura de Carbono. [online]. Retrieved from:

https://www.itto.int/es/climate_change/carbon_sequestration/.

JARAMILLO, Patricia et al., 2020. Proyecto Galápagos Verde 2050. Vol 1. Fundación Charles Darwin. ISBN: 978-9978-53-067-2. Retrieved from: https://www.researchgate.net/profile/Patricia-Jaramillo-Diaz/publication/340952981_El_Proyecto_Galapagos_Verde_2050_Volumen_1/links/5f1a088c299bf1720d5fc040/El-Proyecto-Galapagos-Verde-2050-Volumen-1.pdf

MOSQUERA, Harley Quinto and HURTADO, Flavio Moreno, 2011. Dinámica de la Biomasa Aérea en un Bosque Pluvial Tropical del Chocó Biogeográfico Dynamics of Tree Aboveground Biomass in a Tropical rain Forest of the Chocó Biogeográfico. *Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín* [online]. Vol. 64, no. 1. Retrieved from: <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v64n1/a16v64n01.pdf>

PENMAN, Jim et al., 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry [online].

- IPCC. IGES. ISBN 4-88788-003-0. Retrieved from: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/GPG_Sp.pdf
- PROVENCIO, Aaron, 2022. Scalesia: The Giant Daisy Trees of Galápagos. Galápagos Conservancy [online]. 2022. Retrieved from: <https://www.galapagos.org/newsroom/scalesia/>
- RUNKLE, James and RUNKLE, William, 2005. Structure and development of a Scalesia pedunculata stand in the Galapagos Islands [online]. AquaDocs. Galapagos Research 63. Retrieved from: <https://aquadocs.org/handle/1834/26585>
- SAMPIERI, Roberto et al. (2014). Metodología de la investigación. 6ta ed. McGraw-Hill. ISBN: 978-1-4562-2396-0. Retrieved from: https://www.paginaspersonales.unam.mx/app/webroot/files/981/Investigacion_sampieri_6a_ED.pdf
- TORRES, Bolier et al., 2020. Structure and above ground biomass along an elevation small-scale gradient: case study in an Evergreen Andean Amazon forest, Ecuador. Agroforestry Systems. Vol. 94, no. 4, pp. 1235–1245. DOI 10.1007/s10457-018-00342-8.
- VELASCO, Nicolás and JARAMILLO, Patricia, 2024. Potential model of Scalesia pedunculata carbon sequestration through restoration efforts in agricultural fields of Galapagos. PLOS ONE. Vol. 19, no. 5, p. e0302680. DOI 10.1371/journal.pone.0302680.
- WALENTOWITZ, Anna et al., 2021. Limited natural regeneration of unique Scalesia forest following invasive plant removal in Galapagos. PLOS ONE. Vol. 16, no. 10, p. e0258467. DOI 10.1371/journal.pone.0258467.
- Páginas electrónicas:
- Página electrónica GBIF <https://www.gbif.org/es/species/3147698> (accedido el 08.08.2024)
- Página electrónica <https://www.google.com/maps> (accedido el 08 de agosto, 2024)