

UNIVERSIDAD ESTATAL A DISTANCIA
VICERRECTORÍA ACADÉMICA
ESCUELA DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
MAESTRÍA PROFESIONAL EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES
CON ENFÁSIS EN GESTIÓN AMBIENTAL

**Estimación del stock de carbono en la biomasa aérea del bosque en el refugio del
hotel Buena Vista del Rincón, Guanacaste, Costa Rica.**

Proyecto profesional sometido a la consideración del Tribunal Examinador del Programa
de Maestría Profesional en Manejo de Recursos Naturales de la Escuela de Ciencias
Exactas y Naturales para optar por el grado de *Magister* con énfasis en gestión
ambiental

María Carolina Ocampo Fernández

Director del proyecto: MSc. Oscar Lanuza, oscar.lanuza@catie.ac.cr
Lector del proyecto: MSc. Medardo Moscoso, mmoscoso@earth.ac.cr
Lector del proyecto: PhD. Francisco Jiménez Otárola, fjimenez57@gmail.com

San José, Costa Rica

Octubre, 2025

Dedicatoria

Juan Antonio, hijo mío, a ti, por ser el motor de mi vida y fuente de inspiración en todo lo que hago. "Te amo con todo mi corazón."

Gracias, hijo y compañero de vida, por comprender que todo el proceso que hemos pasado para preparar y culminar esta TFG ha sido por y para nosotros; que es primordial hacer sacrificios para conseguir nuestros sueños.

Gracias por ser paciente y amoroso, eso vale más que nada.

Agradecimientos

A Medardo y don Fidel, quienes me han guiado y acompañado a lo largo de todo el proceso de esta investigación.

A Sergio, por su tiempo, consejos, enseñanzas y su paciencia. Estar siempre disponible y al alcance de un mensaje, al compartir su amplia experiencia.

Al director y lectores, por todas esas horas sentados en la computadora, revisando y dándome sugerencias.

A Raúl Paniagua y su equipo de trabajo, por la disponibilidad de su tiempo y compartir conmigo su trabajo traducido en bases de datos, de las parcelas permanentes de monitoreo.

A mis compañeros de la maestría UNED, por los momentos inolvidables que compartimos y se convirtieron en amistad para toda la vida.

A los profesores, de la escuela de posgrado de la UNED, quienes siempre estaban disponibles para cualquier consulta, ayuda o consejo.

Tabla de contenido

Dedicatoria.....	I
Agradecimientos	II
Tabla de contenido	III
Resumen.....	1
Palabras Clave:	1
Abstract.....	2
Justificación	4
Planteamiento del problema.....	6
Objetivo general	8
Objetivos específicos.....	8
Marco teórico.....	9
Antecedentes.....	9
Importancia de las estimaciones de carbono.....	9
Reservorios de carbono	10
Métodos de estimación de la biomasa en Latinoamérica y Costa Rica	11
Materiales y métodos	12
Área de estudio.....	12
Diseño de muestreo.....	13
Principales limitaciones metodológicas:.....	14
Identificación de especies forestales	15
Estimación de biomasa y carbono por hectárea	15
Propuesta de manejo ambiental para la RNVSPBV	17
Resultados	18
Identificación de especies forestales	18
Estimación del stock de biomasa, carbono por hectárea (ha).....	19
Discusión.....	25
Conclusiones.....	29
Recomendaciones	31
Propuesta de mejora para un manejo responsable y sostenible de los recursos naturales del RNVSPBV.....	34
Referencias	44
Anexo.....	50

Anexo 1: Riqueza y abundancia registrada por familia en el Refugio Nacional de Vida Silvestre Privado Buena Vista.....	50
Anexo 2: Especies con mayor y menor stock de biomasa y carbono encontradas en el bosque secundario del Refugio Nacional de Vida Silvestre Privado Buena Vista.....	52
Anexo 3: Familias con mayor y menos stock de biomasa y carbono encontradas en el bosque secundario del Refugio Nacional de Vida Silvestre Privado Buena Vista.....	54
Anexo 4: Estadística descriptiva e inferencial para el área basal por hectárea.	55
Anexo 5: Imagen trabajo de campo en parcela.....	55
Anexo 6: Imagen instrumento GPS.....	56
Anexo 7: Imagen ejemplo de un rotulo y placa.....	56
Anexo 8: Ejemplo de especie con diferente forma de fuste.....	57
Anexo 7: Cesión de Derechos	58

Estimación del stock de carbono en la biomasa aérea del bosque en el refugio del hotel Buena Vista del Rincón, Guanacaste, Costa Rica.

Resumen

Introducción: En Costa Rica, los ecosistemas forestales desempeñan un papel esencial en la captura y almacenamiento de carbono. La cuantificación de su capacidad para absorber dióxido de carbono (CO_2) y fijarlo en forma de biomasa es fundamental para estimar su potencial de mitigación del calentamiento global. **Objetivo:** Determinar la capacidad de secuestro de carbono en la biomasa aérea del refugio del hotel Buena Vista del Rincón, Guanacaste, Costa Rica. **Métodos:** El estudio se realizó en 124 ha de bosque húmedo tropical del refugio, con el método no destructivo, siguiendo los lineamientos de la guía “Construcción de Funciones Alométricas para Costa Rica”. Se establecieron 10 parcelas de 500 m² cada una, donde se midió el diámetro a la altura del pecho (DAP) y se registraron las especies arbóreas presentes. Las especies se identificaron según literatura especializada y se evaluaron la abundancia, riqueza y frecuencia para la descripción estructural de comunidades forestales. **Resultados:** Se cuantificaron 290 individuos pertenecientes a 45 especies de árboles distribuidas en 30 familias botánicas. El promedio total del stock de biomasa fue de 188.64 toneladas (t), equivalentes a 92.12 t de carbono y 338.09 t de CO_2 , con un promedio de 580 árboles por hectárea. Las especies con mayor índice de abundancia relativa fueron *Garcinia intermedia* (Pittier) Hammel, con 50 individuos, y *Ocotea veraguensis* (Meisn.) Mez, con 31 individuos; seguidas por *Cecropia peltata* L. y *Symphonia globulifera* L. f., con 22 individuos cada una. Por el contrario, las de menor abundancia relativa fueron *Tabebuia impetiginosa* (Mart. ex DC.) Standl., *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn., *Diospyros nicaraguensis* (Standl.) Standl. y *Ficus insipida* Willd., todas con un solo individuo. En cuanto al almacenamiento de carbono, la reserva presentó una media de 188.64 t ha⁻¹ de biomasa aérea seca, equivalente a 92.12 t ha⁻¹ de carbono. Al escalar estos valores al área total del refugio (124 ha), se estimó un stock total de carbono de 11 423.20 t, lo que corresponde a una capacidad de remoción de dióxido de carbono equivalente (CO_{2e}) de 41 923.16 t. **Conclusiones:** Se identificaron familias botánicas como Clusiaceae, Urticaceae y Lauraceae con mayor índice de abundancia relativa, destacando por su predominancia estructural en el ecosistema. En el almacenamiento de carbono presentó una media de 188.64 t ha⁻¹ de biomasa aérea seca, lo que equivale a 92.12 t ha⁻¹ de carbono. Al escalar estos datos al área total del refugio (124 ha), se estimó un stock total de carbono de 11 423.20 t, lo que se traduce en una capacidad de remoción de dióxido de carbono equivalente (CO_{2e}) de 41 923.16 t. **Recomendaciones:** El paisaje natural y las asociaciones vegetales presentes en el RNVSPBV poseen un alto valor ambiental, económico y social, por brindar servicios ecosistémicos, como: belleza escénica, conservación de biodiversidad, equilibrio hídrico local, secuestro y sumidero de carbono; debido a esto la propuesta de manejo debe enfocarse en asegurar la regeneración del bosque, minimizar las perturbaciones antrópicas y fortalecer las capacidades locales de prevención y respuesta frente a eventos como incendios o fragmentación del hábitat.

Palabras Clave: Biomasa aérea, bosque natural, cambio climático, inventario forestal.

Carbon stock estimation in aboveground forest biomass in Buena Vista del Rincón Hotel Refuge, Guanacaste, Costa Rica.

Abstract

Introduction: In Costa Rica, forest ecosystems play an essential role in carbon capture and storage. Quantifying their capacity to absorb carbon dioxide (CO₂) and fix it as biomass is fundamental to estimate their potential to mitigate global warming. **Objective:** To determine the carbon sequestration capacity in the aboveground biomass of the forest within the Buena Vista del Rincón Hotel Refuge, Guanacaste, Costa Rica. **Methods:** The study was conducted in 124 ha of tropical wet forest within the refuge, using a non-destructive method following the guidelines of the “Construction of Allometric Functions for Costa Rica” manual. Ten 500 m² plots were established, where the diameter at breast height (DBH) was measured and tree species were recorded. Species were identified according to specialized literature, and abundance, richness, and frequency were evaluated to describe the forest community structure. **Results:** A total of 290 individuals were recorded, belonging to 45 tree species distributed across 30 botanical families. The average total biomass stock was 188.64 tonne (t), equivalent to 92.12 t of carbon and 338.09 t of carbon dioxide, with an average of 580 trees per hectare. The species with the highest relative abundance indices were *Garcinia intermedia* (Pittier) Hammel, with 50 individuals, and *Ocotea veraguensis* (Meisn.) Mez, with 31 individuals, followed by *Cecropia peltata* L. and *Symphonia globulifera* L. f., each with 22 individuals. Conversely, the species with the lowest relative abundance were *Tabebuia impetiginosa* (Mart. ex DC.) Standl., *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn., *Diospyros nicaraguensis* (Standl.) Standl., and *Ficus insipida* Willd., each represented by a single individual. Regarding carbon storage, the refuge presented a mean of 188.64 t ha⁻¹ of dry aboveground biomass, equivalent to 92.12 t ha⁻¹ of carbon. When scaled to the total area of the refuge (124 ha), the total carbon stock was estimated at 11 423.20 t, corresponding to a carbon dioxide equivalent (CO_{2e}) removal capacity of 41 923.16 t. **Conclusions:** Botanical families such as Clusiaceae, Urticaceae, and Lauraceae showed the highest relative abundance indices, highlighting their structural predominance in the ecosystem. The average dry aboveground biomass was 188.64 t ha⁻¹, equivalent to 92.12 t ha⁻¹ of carbon. When extrapolated to the total refuge area (124 ha), the total carbon stock was estimated at 11 423.20 t, corresponding to a CO_{2e} removal capacity of 41 923.16 t. **Recommendations:** The natural landscape and plant associations present in the RNVSPBV hold high environmental, economic, and social value due to the ecosystem services they provide, such as scenic beauty, biodiversity conservation, local water balance, and carbon sequestration and storage. Therefore, the management should focus on ensuring forest regeneration, minimizing anthropogenic disturbances, and strengthening local capacities for prevention and response to events such as fires or habitat fragmentation.

Keywords: Aboveground biomass, natural forest, climate change, forest inventory.

Introducción

El cambio climático constituye una de las principales amenazas ambientales y socioeconómicas del siglo XXI, impulsado principalmente por el incremento de las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera. De acuerdo con diversos informes del IPCC (2000, 2007) y la FAO (2019), este aumento está directamente relacionado con la quema de combustibles fósiles, la deforestación y el cambio de uso del suelo, actividades que intensifican el efecto invernadero natural y alteran el equilibrio energético del planeta.

Según el IPCC (2007), este fenómeno se debe al aumento de gases como el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4) y el óxido nitroso (N_2O), siendo el CO_2 el más abundante, responsable de más del 60 % del total. El incremento sostenido de estos gases ha provocado un calentamiento progresivo de la atmósfera, evidenciado en el aumento de las temperaturas promedio, el retroceso de glaciares y los eventos climáticos extremos (Espíndola, 2018). La deforestación y la degradación de los ecosistemas forestales contribuyen de forma significativa a esas emisiones, representando cerca del 20 % de las emisiones globales de GEI (Manrique y Franco, 2012).

Los bosques desempeñan un papel esencial en la mitigación del cambio climático al actuar como sumideros naturales de carbono, capaces de capturar CO_2 atmosférico y almacenarlo en su biomasa. Rueda (2014) destaca la importancia de aprovechar estos ecosistemas para estabilizar y reducir las concentraciones de carbono, mientras que la FAO (2019) promueve su manejo sostenible como una medida clave para reducir los efectos del calentamiento global. Este proceso, conocido como secuestro de carbono, es considerado uno de los servicios ambientales más importantes por su contribución directa en la regulación climática (Huamaní-Humaní, 2011). La biomasa aérea (que incluye troncos, ramas, hojas y corteza) constituye el principal depósito de carbono vegetal (Fonseca, 2017).

El secuestro de carbono no solo cumple una función ecológica, sino también económica y social, al permitir la generación de créditos de carbono y fortalecer la gestión sostenible de los recursos naturales. Además, la conservación de los bosques favorece la estabilidad del ciclo hidrológico, la fertilidad del suelo y la protección de la biodiversidad, lo que refuerza su valor como proveedor de servicios ecosistémicos (Salas et al., 2010).

Los bosques tropicales, que cubren aproximadamente 18 millones de km^2 , almacenan cerca del 59% del carbono terrestre y aportan alrededor del 34% de la productividad primaria global (Morrison-Vila, 2020). Su papel es especialmente relevante en regiones intertropicales, donde las altas tasas de crecimiento vegetal permiten una mayor fijación de carbono y una rápida regeneración de biomasa (Luque, 2010). Sin embargo, la presión por el cambio de uso del suelo, la expansión agrícola y la explotación de recursos naturales ha reducido de forma acelerada su cobertura y funcionalidad ecológica (Morera, 2019; Gálvez, 2022). La deforestación y la degradación forestal generan cambios irreversibles en la dinámica de los ecosistemas, provocando la pérdida de biodiversidad, la erosión del suelo y alteraciones en los flujos hídricos (Mendiola, 2008; Ordóñez, 2016).

A nivel global, Silleos et al., (2006) describe que los planes de acción climática reconocen la necesidad de fortalecer la conservación y restauración de los bosques naturales y regenerados, por su capacidad de almacenamiento y fijación de carbono. Asimismo, Sharma y Chaudhry (2015) destacan que durante la fotosíntesis las plantas capturan CO_2 y lo convierten en biomasa, liberando oxígeno, lo que convierte a los bosques en aliados estratégicos frente a la crisis climática. En esta línea, la fijación de carbono es un proceso interconectado con la circulación global del CO_2 , por lo que las acciones de mitigación resultan efectivas sin importar la región (CIIFEN, 2019).

Según la FAO (2019), este reconocimiento ha impulsado políticas internacionales orientadas a la reducción de emisiones por deforestación y degradación (REDD+), que buscan incentivar económicamente la conservación de los bosques y su función como sumideros de carbono. Dichos mecanismos han permitido valorar de forma cuantitativa el aporte de los ecosistemas forestales en el balance global de carbono.

Sin embargo, la capacidad de los bosques para actuar como sumideros depende del grado de perturbación y del estado de conservación de sus componentes (Díaz-Triana et al., 2023). Estos ecosistemas almacenan cerca del 80% del carbono presente en el suelo, la vegetación y la atmósfera (Gálvez, 2022), desempeñando un papel determinante en el equilibrio del ciclo biogeoquímico (Morillo-Medina, 2022). Cuando esta estructura se altera por deforestación, incendios o sobreexplotación, el carbono acumulado se libera nuevamente a la atmósfera, incrementando las concentraciones de GEI. En consecuencia, la restauración ecológica se ha convertido en una prioridad global para recuperar la funcionalidad de los ecosistemas y avanzar hacia el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (Bravo, 2021).

No obstante, pese a su importancia, en América Latina y el Caribe los bosques continúan enfrentando tasas elevadas de pérdida entre 2000 y 2010, la región registró la mayor reducción de la cobertura forestal del mundo, y en Centroamérica la deforestación alcanzó aproximadamente 235 mil hectáreas anuales (Henao et al., 2015). Además, Hancock (2019) advierte que cerca del 47% de los bosques del planeta podrían enfrentar un alto riesgo de degradación o pérdida para 2030 si no se implementan medidas efectivas de conservación.

Esta situación refleja una paradoja, las regiones con mayor riqueza biológica son, al mismo tiempo, las más vulnerables a la pérdida de sus ecosistemas. En el caso de Costa Rica, a pesar de los avances en políticas de conservación, la presión sobre los bosques privados y las áreas rurales sigue siendo una amenaza constante, especialmente en zonas destinadas al turismo o la producción agropecuaria (Morera-Beita, 2019).

Por lo tanto, la degradación forestal no solo reduce la cobertura vegetal, sino que afecta la capacidad de los ecosistemas para regular el clima, almacenar carbono y proveer servicios ambientales esenciales. Evaluar la cantidad de carbono fijado en la biomasa se convierte, por tanto, en un indicador clave para medir el estado de salud del bosque y su contribución a la mitigación del cambio climático (Díaz-Triana et al., 2023). Este tipo de información también permite establecer líneas base para el monitoreo y la gestión sostenible de los recursos forestales.

En este contexto, la estimación del stock de carbono en la biomasa aérea de los bosques tropicales constituye una herramienta fundamental para cuantificar su potencial de mitigación y orientar estrategias de manejo sostenible. Evaluar estos ecosistemas permite determinar si actúan como sumideros o fuentes de carbono y establecer líneas base para programas de restauración y conservación. Por ello, la presente investigación estima el stock de carbono en la biomasa aérea del bosque ubicado en el Refugio Nacional de Vida Silvestre Privado Buena Vista, Guanacaste, Costa Rica, con el propósito de generar información científica que contribuya a la gestión sostenible del territorio y al fortalecimiento de las acciones locales frente al cambio climático.

Justificación

En América Latina, los bosques tropicales representan una proporción significativa de la cobertura boscosa mundial y concentran buena parte del carbono terrestre, desempeñando un papel esencial en la regulación climática global (Phillips, 2011). Sin embargo, la presión por el cambio de uso del suelo la fragmentación las quemas y las actividades turísticas intensivas han reducido su cobertura y capacidad de almacenamiento

de carbono. Estos impactos han deteriorado los recursos naturales comprometiendo su función como sumideros naturales, y convirtiéndolos en emisores potenciales de gases de efecto invernadero, incrementando las problemáticas ambientales a nivel mundial.

Aunque desde la década de 1980 la cobertura boscosa de Costa Rica, bajo la modalidad de Áreas Silvestres Protegidas, ha mostrado importantes niveles de recuperación, contribuyendo así al cumplimiento de las metas nacionales de mitigación y adaptación al cambio climático, aún persisten procesos de pérdida forestal. Según el Visor Forestal Mundial (Global Forest Watch, 2025), en el año 2020 la provincia de Guanacaste contaba con 494 mil hectáreas (ha) de bosque natural, de las cuales 69,3 mil hectáreas correspondían al cantón de Liberia, lo que representaba aproximadamente el 48 % de la superficie terrestre de la provincia. Para el año 2024, Guanacaste registró una pérdida de 438 hectáreas de bosque natural, mientras que Liberia perdió 40 hectáreas. Esta deforestación se tradujo en un estimado de 239 mil t de emisiones de CO₂ en la provincia y 19 300 t en el cantón de Liberia.

A partir de lo expuesto, surge la necesidad de contrarrestar los niveles de deforestación en el cantón de Liberia, no mediante las modalidades de conservación tradicionales (como los parques nacionales u otras categorías de las áreas silvestres protegidas administradas por el Estado), sino a través del fortalecimiento de las áreas privadas de conservación. Estas zonas, manejadas por propietarios particulares, representan un complemento estratégico para la conservación, reforestación y el manejo sostenible de los recursos naturales. No obstante, enfrentan el riesgo de que su uso de suelo sea progresivamente transformado hacia actividades con fines predominantemente económicos, en detrimento de los intereses sociales y ambientales que promueven su conservación. En este sentido, aunque en 2021 en Costa Rica se registraron 210 reservas naturales privadas, el conocimiento sobre su aporte real a la conservación y preservación de los recursos naturales sigue siendo limitado (Moya Calderón, 2021). Esta brecha de información limita la comprensión del papel que desempeñan en la captura de carbono y en la sostenibilidad ambiental nacional.

El Refugio Nacional de Vida Silvestre Privado Buena Vista (RNVSPBV), ubicado en el distrito de Cañas Dulces de Liberia, Guanacaste e integrado funcionalmente al área de Conservación Guanacaste (ACG), constituye un escenario idóneo para valorar esta función. Aunque forma parte del ACG, mantiene carácter de propiedad privada, sujeta a regulaciones y compromisos de manejo ambiental establecidos por el SINAC. Desde 1991, el refugio ha experimentado un proceso de regeneración natural que ha permitido la recuperación progresiva de su cobertura boscosa. Este proceso, resultado del abandono de tierras ganaderas y de la transición hacia un modelo económico basado en el turismo sostenible, ha propiciado la consolidación de bosques secundarios con alto potencial para el secuestro de carbono (Jiménez, 2014).

En este contexto, estimar la cantidad de carbono almacenado en la biomasa aérea del refugio adquiere relevancia científica y práctica. Por un lado, permite comprender el estado actual del ecosistema y su aporte a la mitigación del cambio climático; y por otro, ofrece una herramienta útil para la planificación del manejo forestal y la toma de decisiones de conservación. Según Power (2009), la conservación de las reservas de CO₂ en los bosques representa un servicio ambiental de alto valor, especialmente para los países en desarrollo, ya que contribuye directamente al equilibrio atmosférico y a la resiliencia climática.

Asimismo, la cuantificación del carbono almacenado puede fortalecer la participación del refugio en programas de incentivos ambientales y en mecanismos de compensación voluntaria, como el mercado de carbono. Estas iniciativas no solo promueven la protección de los bosques, sino que también estimulan modelos económicos sostenibles basados en la valorización de los servicios ecosistémicos. Además, disponer

de datos científicos permitirá a la alta dirección administrativa del refugio, diseñar estrategias de restauración, monitoreo y educación ambiental que garanticen la continuidad de sus funciones ecológicas y su aporte al bienestar local.

En este mismo sentido, experiencias locales como las impulsadas por la Estación Experimental Horizontes en el Área de Conservación Guanacaste (ACG) evidencian que la biodiversidad puede gestionarse de forma sostenible mediante programas de educación ambiental, investigación y reforestación, consolidando modelos de biodesarrollo que integran conservación y bienestar comunitario.

De manera complementaria, la estimación del stock de carbono dentro del refugio permitirá generar espacios de sensibilización ambiental orientados a turistas y comunidades locales, fortaleciendo la educación ambiental y las prácticas sostenibles en el marco del turismo responsable.

Por otro lado, El RNVSPBV cumple un papel estratégico dentro del ACG, al funcionar como espacio de aprendizaje ambiental que fomenta la investigación, la educación biológica y la concientización sobre la importancia de los ecosistemas boscosos. Evaluar su potencial como sumidero de carbono no solo fortalece su gestión interna, sino que también aporta evidencia científica valiosa para la planificación regional y nacional. Identificar la capacidad de secuestro de carbono de sus áreas boscosas permitirá dimensionar su contribución al cumplimiento de los compromisos climáticos internacionales asumidos por Costa Rica. El aporte real de los bosques secundarios en proceso de regeneración al cumplimiento de los compromisos climáticos del país.

Por lo tanto, esta investigación tiene como propósito generar información científica aplicada que respalde el manejo sostenible del Refugio Nacional de Vida Silvestre Privado Buena Vista, fortaleciendo su papel como modelo de conservación privada dentro del ACG. Sus resultados ofrecerán una línea base de monitoreo del carbono forestal y orientarán acciones para futuros estudios dentro del Área de Conservación Guanacaste, orientando acciones de conservación y restauración ecológica sustentadas con evidencia. De forma complementaria, el estudio pretende impulsar la educación ambiental y la conciencia climática, promoviendo la comprensión de los bosques secundarios como aliados naturales en la mitigación del cambio climático y como motores de bienestar ecológico, social y económico entre visitantes y colaboradores locales.

Planteamiento del problema

Costa Rica se ha propuesto alcanzar una economía descarbonizada para el año 2050, en coherencia con la meta climática global de mantener el aumento de la temperatura media mundial por debajo de los 2°C respecto a los niveles preindustriales (DCC, 2019). Este compromiso exige transformar el modelo de desarrollo nacional hacia uno que reduzca drásticamente las emisiones y promueva un uso sostenible de los recursos naturales (MINAE, 2018).

Sin embargo, este proceso enfrenta grandes desafíos. El crecimiento económico acelerado, la expansión urbana y turística, y el uso intensivo del territorio han generado un alto costo ambiental, evidenciado en la degradación de los ecosistemas, la pérdida de cobertura forestal y la liberación de carbono. Estas presiones no solo dificultan el cumplimiento de las metas de descarbonización, sino que también debilitan los esfuerzos de sostenibilidad del país. En este escenario, la conservación de los ecosistemas y la gestión responsable del turismo se vuelven elementos esenciales para equilibrar el desarrollo con la protección ambiental.

A nivel ecosistémico, la biomasa terrestre representa cerca del 90% del carbono orgánico almacenado en la vegetación y el suelo, por lo que su pérdida tiene efecto directo sobre el balance atmosférico (Rodríguez et al., 2016). Cuando los bosques se degradan o

son sustituidos por usos agrícolas o urbanos, el carbono acumulado se libera nuevamente a la atmósfera, agravando el calentamiento global. Esta situación resulta especialmente preocupante en regiones tropicales, donde los incendios forestales, la ganadería extensiva y las actividades turísticas intensivas deterioran la capacidad de los ecosistemas para regenerarse y actuar como sumideros de carbono (ACG, 2012).

Lo anterior evidencia la importancia de los ecosistemas forestales, los cuales cumplen funciones vitales, como la regulación del clima, la purificación del aire y del agua, la conservación del suelo y la protección ante inundaciones (entre otros servicios ecosistémicos). Sin embargo, el cambio de uso del suelo debido a la tala no planificada e incontrolada ha reducido la diversidad biológica y degradado la calidad ambiental (Andrade et al., 2008). Estas perturbaciones, además de afectar la biodiversidad, disminuyen la capacidad de los bosques para almacenar carbono, convirtiéndolos en emisores netos de gases de efecto invernadero.

A nivel regional, la provincia de Guanacaste, históricamente vinculada a la ganadería y la agricultura, constituye un caso representativo de los desafíos ambientales que enfrenta el país. La deforestación, la degradación forestal y las malas prácticas de uso del suelo han dejado huellas evidentes en gran parte de su territorio, afectando la integridad de los ecosistemas y la capacidad de los bosques para actuar como sumideros naturales de carbono.

De manera particular, esta problemática se manifiesta en el distrito de Cañas Dulces, ubicado en las faldas del volcán Rincón de la Vieja, sitio que alberga actualmente el Refugio Nacional de Vida Silvestre Privado Buena Vista. Desde finales de la década de 1970, la antigua hacienda que ocupa hoy el refugio fue sometida a una tala total con el propósito de habilitar potreros para la ganadería de doble propósito, lo que provocó un fuerte impacto ambiental derivado de las altas cargas animales, los intensos laboreos agrícolas y las malas prácticas de manejo. Entre estas últimas destacan el uso recurrente del fuego para la limpieza o chapea de potreros, así como la aplicación frecuente de fertilizantes químicos, herbicidas e insecticidas, prácticas que aceleraron la degradación del suelo, alteraron los procesos de regeneración natural del bosque y redujeron la capacidad del ecosistema para recuperarse (ACG, 2012; BDR, 2024).

En este contexto, el turismo representa un paradigma con doble efecto sobre el ambiente. Por un lado, el turismo sostenible se ha consolidado como una estrategia clave para equilibrar el desarrollo económico con la conservación ambiental. Según Olivera (2014), los visitantes muestran actualmente un interés creciente por hospedarse en establecimientos que gestionen de manera responsable sus recursos y reduzcan su huella ambiental. Por otro lado, aunque el turismo sostenible se plantea como una alternativa para armonizar el desarrollo con la conservación, muchos refugios y reservas privadas carecen de información científica sobre su capacidad de almacenamiento de carbono. Esta carencia limita su aprovechamiento como herramientas de educación ambiental y sensibilización, reduciendo el impacto de sus esfuerzos por promover prácticas sostenibles y conservar los ecosistemas.

Por otra parte, en el Área de Conservación Guanacaste se han desarrollado experiencias exitosas, como las impulsadas por la Estación Experimental Horizontes, que evidencian el potencial de la biodiversidad para gestionarse de forma sostenible mediante la educación ambiental, la investigación y la reforestación. Sin embargo, estos modelos no se han replicado de manera amplia ni sistemática en otras reservas privadas, y la limitada articulación entre las iniciativas locales, las políticas de conservación y los mecanismos de seguimiento científico ha restringido su impacto. En consecuencia, el Refugio Nacional de Vida Silvestre Privado Buena Vista se ve afectado por esta misma limitación, evidenciando la necesidad de fortalecer la gestión ambiental integral y la vinculación entre conservación, desarrollo comunitario y sostenibilidad regional.

A su vez, si no se planifica adecuadamente, el turismo y la inversión inmobiliaria asociada pueden generar importantes presiones sobre los ecosistemas. Reynolds (2013) advierte que el avance del desarrollo urbano y turístico, junto con la expansión de la frontera agrícola en la costa pacífica guanacasteca, genera tensiones entre la conservación ambiental y las políticas de crecimiento económico. Aunque Costa Rica mantiene una sólida imagen internacional como país verde, la presión sobre los ecosistemas forestales es cada vez mayor, como lo evidencia el Global Forest Watch (2025).

Finalmente, estas dinámicas reflejan una problemática estructural más amplia: pese a los esfuerzos nacionales por alcanzar la descarbonización, la degradación progresiva de los ecosistemas forestales y la falta de planificación territorial están comprometiendo la capacidad de los bosques para actuar como sumideros de carbono. A ello se suman los efectos del cambio climático y la ejecución de proyectos estatales de interés público, como los geotérmicos, que, si bien buscan impulsar la transición energética, generan tensiones ecológicas en zonas de alta sensibilidad ambiental, como las cercanas al Refugio Nacional de Vida Silvestre Privado Buena Vista.

Esta combinación de presiones amenaza la estabilidad de los bosques en regeneración y pone en riesgo su función como reguladores del clima local. La falta de evaluaciones científicas que cuantifiquen el carbono almacenado en estos ecosistemas dificulta su incorporación en las estrategias nacionales de mitigación y limita la toma de decisiones informadas para su manejo sostenible, subestimando su verdadero aporte ecológico y su papel en la sostenibilidad regional.

Por tanto, se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuál es la capacidad de secuestro de carbono en la biomasa aérea del bosque natural del Refugio Nacional de Vida Silvestre Privado Buena Vista?

Objetivo general

Analizar la capacidad de secuestro de carbono en la biomasa aérea del Refugio Nacional de Vida Silvestre Privado Buena Vista (RNVSPBV), Guanacaste, Costa Rica.

Objetivos específicos

1. Identificar la composición de especies forestales en el RNVSPBV, Guanacaste, Costa Rica, para determinar aquellas con mayor stock de carbono.
2. Estimar la cantidad (stock) de biomasa y carbono del Refugio Nacional de Vida Silvestre Privado Buena Vista (RNVSPBV), Guanacaste, Costa Rica.
3. Definir una propuesta para la gestión ambiental del bosque en el Refugio Nacional de Vida Silvestre Privado Buena Vista (RNVSPBV), Guanacaste, Costa Rica, orientada a optimizar el manejo del bosque y fortalecer su capacidad de captura y almacenamiento de carbono.

Marco teórico

Antecedentes

Ha sido reconocido por Fonseca-González et al., (2019), que a nivel mundial las actividades antrópicas como el consumo de combustibles fósiles, la deforestación y el desarrollo de la agricultura y la ganadería, contribuyen al cambio climático. Una buena gestión de los ecosistemas puede cambiar la dirección de los flujos de carbono entre el suelo y la atmósfera (Tacarpo, 2018). Además, esto generaría una variedad de ventajas socioeconómicas, un progreso sostenible y la reducción de los efectos del cambio climático (Tacarpo, 2018).

Así, los bosques son reconocidos por su papel en la reducción de este cambio al absorber el dióxido de carbono (CO₂) atmosférico a través de la fotosíntesis, una parte del cual acumulan en su biomasa (IPCC, 2019). También, los sistemas agroforestales pueden secuestrar carbono para reducir el cambio climático y preservar la diversidad de árboles nativos, la mayoría de los flujos de carbono entre la tierra y la atmósfera son causados por ellos (IPCC, 2019).

En la Estación Experimental Forestal Horizontes en el ACG (2021), se realizó una investigación base que ha buscado explicar las principales incógnitas respecto al desarrollo de los bosques tropicales secundarios, el estudio pretende continuar con el mismo eje de trabajo mediante el análisis de estos bosques a través del tiempo con parámetros como la estructura horizontal, dinámica, composición florística y crecimiento, tomando en cuenta los gremios ecológicos y las distintas fases sucesionales. El hecho de que se hayan dejado de lado tierras destinadas a la ganadería ha permitido que los bosques secundarios de la zona se recuperen (Pacheco Quesada, 2021). Los resultados de la estructura y los parámetros demográficos mostraron un comportamiento inverso a la dinámica natural de los bosques tropicales, con una disminución considerable en el área basal y la abundancia; además, tasas de mortalidad mayores que tasas de reclutamiento. Se encontró que el comportamiento atípico en las variables se debió a la influencia directa de factores climáticos, específicamente la influencia de ENOS 2014 y OTTO 2016. El efecto sinérgico de ambos fenómenos provocó cambios significativos en la estructura de los bosques, pero no afectó su diversidad (Pacheco Quesada, 2021).

Un estudio realizado por Retana et al., (2019), en un bosque primario intervenido de la zona protectora en Costa Rica El Rodeo, examinó la biomasa y el carbono almacenado en los diversos componentes del bosque. Se instalaron 12 parcelas temporales para determinar las concentraciones de carbono en cada uno de los componentes del bosque, incluyendo fustales más de 10 cm, latizales 5-9.9 cm, necromasa, vegetación herbácea y hojarasca. En su conjunto, estos componentes representan la cantidad potencial de carbono que puede ser liberado a la atmósfera o conservado y fijado en una determinada superficie.

Importancia de las estimaciones de carbono

La biomasa es materia orgánica producida por procesos biológicos en un ecosistema forestal específico, que generalmente se consume a un ritmo menor o igual al que se produce (Nogués, 2010). Según el autor, es común dividir en varios componentes, destacando los más específicos: fuste, ramas, hojas, corteza, raíces, madera caída y hojarasca (Ramírez, 1999). Los bosques tropicales mantienen importantes contenidos de biomasa y juegan un papel importante en el ciclo global del carbono, aunque varían, según el uso al que han sido sometidos (Nogués, 2010).

Debido a los intereses industriales, energéticos y ambientales, la biomasa forestal se ha convertido en un tema de estudio importante (Power, 2009). Utilizando la biomasa de los bosques para calcular la concentración de carbono en la vegetación, se puede encontrar la cantidad de CO₂ que ingresa en la atmósfera, cada vez que se tala o quema un bosque (Mirano, 2015). La evaluación del estado de un ecosistema depende de la información sobre su productividad y biomasa (Liu, 2006).

Dado el crucial y relevante papel de los bosques en los ciclos biogeoquímicos globales, especialmente el ciclo del carbono y su estrecha relación con el efecto invernadero, los bosques se manifiestan como grandes reservorios de carbono (Macías et al., 2020). Se han llevado a cabo numerosas investigaciones sobre el almacenamiento de carbono en los bosques, todo esto con el objetivo de disponer de información que respalde la preservación de estos ecosistemas, debido a su elevada vulnerabilidad a amenazas (Macías et al., 2020). El panel intergubernamental sobre cambio climático indica que la preservación de las reservas de carbono forestales; la administración sostenible de los bosques; y la optimización de las reservas de carbono forestales, podría aportar significativamente a la disminución mundial de emisiones del sector AFOLU (Agricultura, Forestería y Otro Uso de Tierras) (IPCC, 2014).

Según un estudio realizado en La Reserva Ecológica Arenillas en Ecuador, donde preservar los ecosistemas y la variedad de especies, se transforman en un enorme depósito de carbono, que contribuye a la regulación del clima, al calentamiento global y a la asimilación del carbono en su ciclo. La información ayuda a formular estrategias o políticas para la gestión del área protegida, las cuales deben orientarse hacia el desarrollo sostenible, incluye acciones de preservación del ecosistema, y un uso correcto de los recursos (turístico), reforzamiento de los servicios ecológicos que contengan la implicación directa de los habitantes de la reserva ecológica, así como de las instituciones públicas o privadas (Luna et al, 2021).

Reservorios de carbono

Los lugares donde el carbono se almacena durante su ciclo natural se conocen como reservorios de carbono o depósitos de carbono (IPCC, 2000). El flujo de carbono en el sistema puede tener como resultado tanto la disminución como el aumento de las concentraciones de carbono en cualquier depósito (IPCC, 2019). Esto puede provocar la pérdida de carbono en la biomasa, la materia orgánica muerta y el suelo como resultado de perturbaciones como la cosecha, la explotación maderera, los eventos naturales, el cambio en el uso de la tierra y los incendios, entre otros factores (IPCC, 2000). Por lo tanto, la pérdida de carbono en un reservorio puede significar un aumento en otro, lo que lleva a un incremento en la cantidad de carbono en cada reservorio (Rodríguez, 2014).

Un estudio realizado en los bosques templados de Durango, México, arroja que los depósitos de carbono (C) en los bosques, el 44 % está presente en el suelo. Se recolectaron ejemplares de hojarasca, del borde de fermentación y de las capas de terreno de 0 a 30 cm. Se establecieron los contenidos de C en un analizador elemental. La estimación del COS promedio fue de 8.48, 1.08, 110.62 y 53.44 t ha⁻¹ en hojarasca, en el horizonte de fermentación, en un suelo de 0-30 cm y de 30-60 cm, respectivamente. Las reservas medias de C total en el terreno fluctuaron entre 26.34 y 578.27 t ha⁻¹. El bosque de pino mostró la mayor variabilidad en los almacenes de COS. El tipo de bosque no tiene impacto en los depósitos de carbono orgánico en el terreno, pero sí lo hace el tipo de suelo. En los bosques de Durango, los reservorios de COS son superiores en comparación con la misma clase de vegetación en otras zonas del país (Vargas-Larreta et al., 2023).

Los bosques montanos en Lima, Perú, actúan como recolectores de carbono proveniente de diversas actividades industriales, ayudando a disminuir la existencia de GEI

en el entorno natural. Las investigaciones observacionales sostuvieron que los bosques montañosos poseen una biósfera singular y estratégica, lo que le confiere un alto valor ya que su función como depósito de carbono es un componente de su comportamiento natural. Estos bosques representan solo el 0.3% de la superficie terrestre en comparación con los bosques tropicales, y si se deforestan, podrían liberar una considerable cantidad de GEI, en particular carbono, constituyendo un peligro para la homeostasis del entorno y los habitantes que lo habitan (Apaza Holguín y Muñoz Caja, 2022).

Métodos de estimación de la biomasa en Latinoamérica y Costa Rica

La biomasa aérea de los bosques se puede estimar mediante métodos directos e indirectos (González, 2008). Para calcular la biomasa extraída de un árbol, el método directo o destructivo divide cada uno de sus componentes ramas, tronco y follaje en secciones. El diámetro del árbol a la altura del pecho (DAP), la altura total (Ht), el diámetro y la longitud de la copa son algunas de estas mediciones (González, 2008); El método indirecto calcula el volumen del árbol utilizando fórmulas dosimétricas, mientras que la biomasa se calcula sumando los volúmenes parciales del fuste y las ramas gruesas medidas en el campo. Para determinar el peso de la madera en húmedo y seco, es necesario tomar muestras (González, 2008).

Otros métodos de teledetección utilizan sensores instalados en plataformas aéreas o espaciales para imitar la superficie de la tierra (Sharma, 2015), e índice de vegetación de la clorofila, ya que las hojas interactúan con el espectro electromagnético durante la fotosíntesis, absorbiendo gran cantidad de energía lumínica (Sharma, 2015). Las áreas del espectro rojo y azul son absorbidas y reflejadas por la clorofila, lo que da como resultado el color verde de la vegetación (Silleos, 2006).

Se utiliza la siguiente fórmula para calcular la densidad básica y los factores de expansión de la madera para estimar los biomas; en este procedimiento, no es necesario derribar el árbol (Brown, 1997): $BA = VC * D * FEB$ Donde: BA = Biomasa aérea ($t\ ha^{-1}$); VC = Volumen comercial (m^3); D = Densidad básica de la madera; FEB = Factor de expansión de la biomasa.

Se pueden crear ecuaciones alométricas utilizando regresiones estadísticas que relacionan las mediciones de las variables del árbol en el campo a través de inventarios forestales. Estos parámetros de los árboles incluyen su diámetro a la altura del pecho (DAP) y su altura (Sharma, 2015). El uso de ecuaciones alométricas es un método indirecto para estimar la biomasa (Mohd, 2017). Estas ecuaciones de estimación de biomasa pueden ser precisas para una o varias especies en un ecosistema (Sharma, 2015).

La biomasa aérea de los bosques tropicales contiene una gran cantidad de carbono, la mayor parte del cual proviene de la biomasa aérea de los árboles (Mohd, 2017). La mayoría de los estudios de estimación de carbono utilizan un factor de 0.5 porque el carbono representa el 50% de la biomasa de los bosques tropicales (Phillips et al., 2011).

Materiales y métodos

Área de estudio

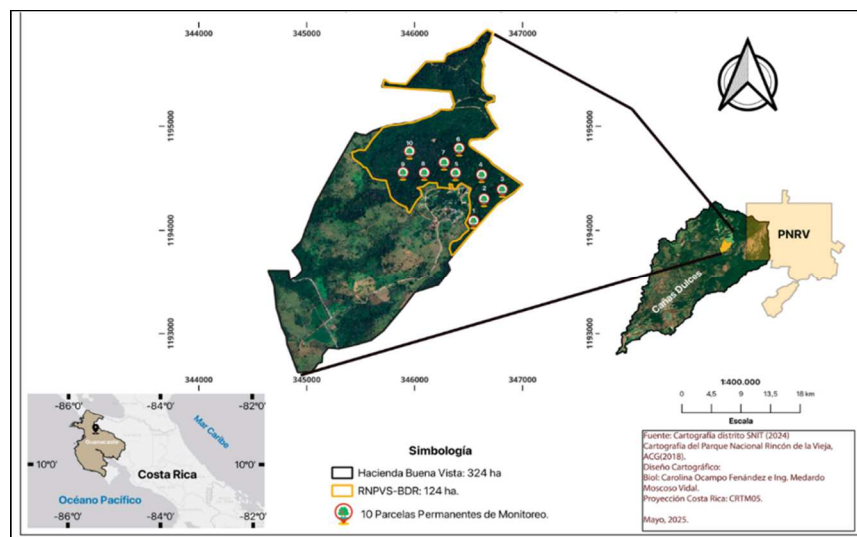
El estudio se realizó en la comunidad de Buena Vista en el distrito de Cañas Dulces, cantón de Liberia, provincia de Guanacaste. Buena Vista se localiza en la hoja cartográfica Curubande, la cual corresponde a la escala 1:50 000 del Instituto Geográfico Nacional (IGN), entre las coordenadas 303 Longitud (W) - 375 Latitud (N). La RNVSPBV está dentro del hotel Buena Vista del Rincón (Fig.1), con una extensión de 124 ha, el cual según el sistema Zonas de Vida de Holdridge, se encuentra en bosque húmedo tropical, funciona como refugio y tiene una conexión estructural con el Parque Nacional Rincón de la Vieja (Holdridge, 1978).

Se encuentra cerca del Corredor Biológico Morochas, Rincón-Cacao y Rincón Bosque Lluvioso, que lo convierte en un elemento muy importante para los objetivos de conservación, servicios ecosistémicos, porque amplía y favorecer la conectividad con el Parque Nacional Santa Rosa, ubicado al oeste del refugio (SINAC, 2023). El área es heterogénea y está conformada por un mosaico de condiciones desde áreas de vegetación secundaria avanzada, reductos boscosos en las áreas de protección de los cauces, con una buena diversidad de fauna y flora, en especial la avifauna y especies de flora en peligro (Gómez, 2023).

El RNVSPBV se encuentra cercano al Parque Nacional Volcán Rincón de la Vieja, el cual es de interés nacional para la conservación y su relieve incluye serranías, valles, depresiones y cauces; cuyas elevaciones abarcan desde 670 msnm hasta los 740 msnm, así como sectores con terrenos ondulados, que moldean parte de las cuencas que cruzan el refugio (Google, 2005).

Figura 1

Área de estudio con la ubicación de las parcelas en el Refugio Nacional de Vida Silvestre Privada Buena Vista, Liberia, Guanacaste.



Fuente: Elaboración propia (2025).

Diseño de muestreo

La cuantificación del stock de la biomasa aérea se realizó en un parche de bosque de 124 ha, que tiene una edad aproximada de 15 a 20 años de sucesión. Por ser un área tan extensa, por limitaciones de tiempo, costo y debido a las condiciones del terreno en la toma de datos, se decidió muestrear solamente el bosque alrededor del hotel y en sitios de acceso seguro. Se establecieron 10 parcelas permanentes de monitoreo (PPM) debidamente georreferenciadas con un sistema de posicionamiento global (GPS) de 500 m² cada una (Fig. 2). La distancia promedio entre PPM fue de 136.50 m (Anexo 5).

Figura 2

Ejemplo diseño de muestreo por medio de un Sistema de Información Geográfica (SIG).



A. Ejemplo aplicación de la cuadrícula



B. Zona muestreo en la RNVSPBV

Nota: A. Figura de la izquierda ejemplo práctico del uso de la cuadrícula QGIS y B. Cuadrícula en el área de estudio.

El diseño de muestreo se realizó con un sistema de información geográfica construyendo una malla de puntos o grillas de 25 x 25 m a las cuales se le asignó un número identificador. Posteriormente, se realizó el sorteo al azar de las parcelas a establecer según el área de muestreo establecida para este estudio en 0.4% (10 parcelas). Estos puntos tendrán las coordenadas geográficas a incluir en el sistema de posicionamiento global (GPS) para la búsqueda en el campo.

Cada unidad de muestreo se identificó con una placa de aluminio según su respectivo número, adherida con un clavo de acero inoxidable en su tallo. Además, en el tronco del árbol, se identificó con pintura acrílica, con un punto central. Fueron analizados todos los individuos enraizados dentro de cada una de las parcelas que tuvieran un DAP mayor a 1.30m.

En la estimación de carbono y biomasa, se utilizó equipo especializado que garantizó la precisión y la trazabilidad de los datos de campo. La medición del diámetro a la altura del pecho (DAP) en los árboles seleccionados se realizó con una cinta diamétrica. Para el registro geográfico, se empleó un dispositivo GPS que permitió el levantamiento preciso de la ubicación de los puntos de muestreo y de cada árbol.

Principales limitaciones metodológicas:

Aspecto evaluado	Descripción de la limitación
Accesibilidad y condiciones del terreno	La topografía irregular, la cobertura vegetal densa y la presencia de zonas ribereñas dificultaron el acceso a algunas parcelas y limitaron la movilidad del equipo de campo, afectando el tiempo efectivo de muestreo y la logística, aun con apoyo de transporte equino.
Tamaño y número de parcelas	Aunque el muestreo sistemático-aleatorio con 10 parcelas permanentes de 500 m ² cumple criterios técnicos, el número de parcelas puede ser insuficiente para representar completamente la heterogeneidad estructural y florística del refugio, especialmente en paisajes con diferentes estados sucesionales.
Umbral de inclusión (DAP $\geq$ 10 cm)	La exclusión de individuos con DAP menor a 10 cm dejó fuera la regeneración natural y el sotobosque, lo que puede subestimar la biomasa y el carbono total del ecosistema, particularmente en áreas en recuperación.
Identificación taxonómica	La ausencia de estructuras reproductivas (flores y frutos) impidió la identificación de algunas especies a nivel específico, realizándose identificaciones a nivel de género o familia, lo cual puede afectar la precisión del análisis florístico.
Ecuaciones alométricas	El uso de ecuaciones alométricas generalizadas, aunque validadas para el bosque seco de Guanacaste, no considera particularidades específicas de cada especie, introduciendo un margen de error en las estimaciones de biomasa y carbono.
Limitaciones temporales del muestreo	El trabajo de campo se realizó en un período específico del año, sin considerar variaciones estacionales que podrían influir en la estructura del bosque, la fenología y la detectabilidad de algunas especies.
Dependencia de lineamientos nacionales	La estimación de carbono y CO ₂ equivalente se basó en factores de conversión y lineamientos nacionales del SIREFOR y el Inventario Nacional Forestal,

	lo que garantiza estandarización, pero limita ajustes metodológicos locales más finos.
--	--

Identificación de especies forestales

Durante el trabajo de campo se recolectaron muestras vegetativas de los árboles para realizar la identificación de las especies, con la ayuda del libro Árboles de Costa Rica (Zamora et al., 2004) y el Manual de Plantas de Costa Rica (Zamora et al., 2010). En aquellos casos en que la identificación no fue posible de manera inmediata, se recolectaron muestras de hojas en bolsas de papel para su análisis posterior.

Además, se utilizó el método de Díaz (2023) que trata sobre la abundancia y riqueza de las especies de árboles identificados. Así, se estimó la abundancia relativa considerando los siguientes factores: (número de individuos por especie) (número de individuos de la especie / número total de individuos de todas las especies x 100).

Con respecto a la riqueza, los factores considerados fueron los siguientes: riqueza (número de especies), frecuencia (número de parcelas en las cuales se encontró cada especie). Para identificar las especies con mayor stock (cantidad) de biomasa y carbono se aplicaron a los datos recolectados de las PPM a las fórmulas alométricas. Además, los datos fueron filtrados en orden ascendente para luego analizar las cantidades por especie y por familia, utilizando tablas dinámicas del programa Excel (Microsoft Office, 1975).

Estimación de biomasa y carbono por hectárea

Se utilizó un modelo indirecto para estimar el volumen total del fuste para el bosque seco de Guanacaste, a partir del diámetro normal desarrollado por Fonseca et al. (2016). La unidad utilizada fue la toneladas (t), equivalente a 1 Mg o 1000 kg.

Para el cálculo de la biomasa total ($t\ ha^{-1}$) se aplicó la fórmula de función alométrica para biomasa: $B_{total} = \text{Exp} (-1.53009 + 2.17632 \cdot \ln (Dap))$.

Donde:

B_{total} = Biomasa total.

Dap = Diámetro altura pecho (1.30m).

$\ln$ = Logaritmo natural.

La fórmula alométrica utilizada para la llevar a cabo la estimación del carbono fue la siguiente: $C_{total} = \text{Exp} (-2.27186 + 2.17651 \cdot \ln (Dap))$.

Donde:

C_{total} = Carbono total.

Dap = Diámetro altura pecho (1.30m).

$\ln$ = Logaritmo natural.

Para la elaboración de las PPM se inició el proceso con la exploración de los límites de la propiedad, donde se realizó un recorrido a caballo junto a un baqueano para estimar el área total del refugio, actividad que tuvo una duración de un mes, entre marzo y abril 2024. Posteriormente, se planificó el muestreo utilizando un sistema de información geográfica para establecer el diseño construyendo una malla de puntos o cuadrículas de 25 x 25 m. En junio de 2024, se llevaron a cabo las tareas de marcaje de las parcelas, que incluyeron la demarcación del área de cada parcela, el registro de datos de DAP (Diámetro

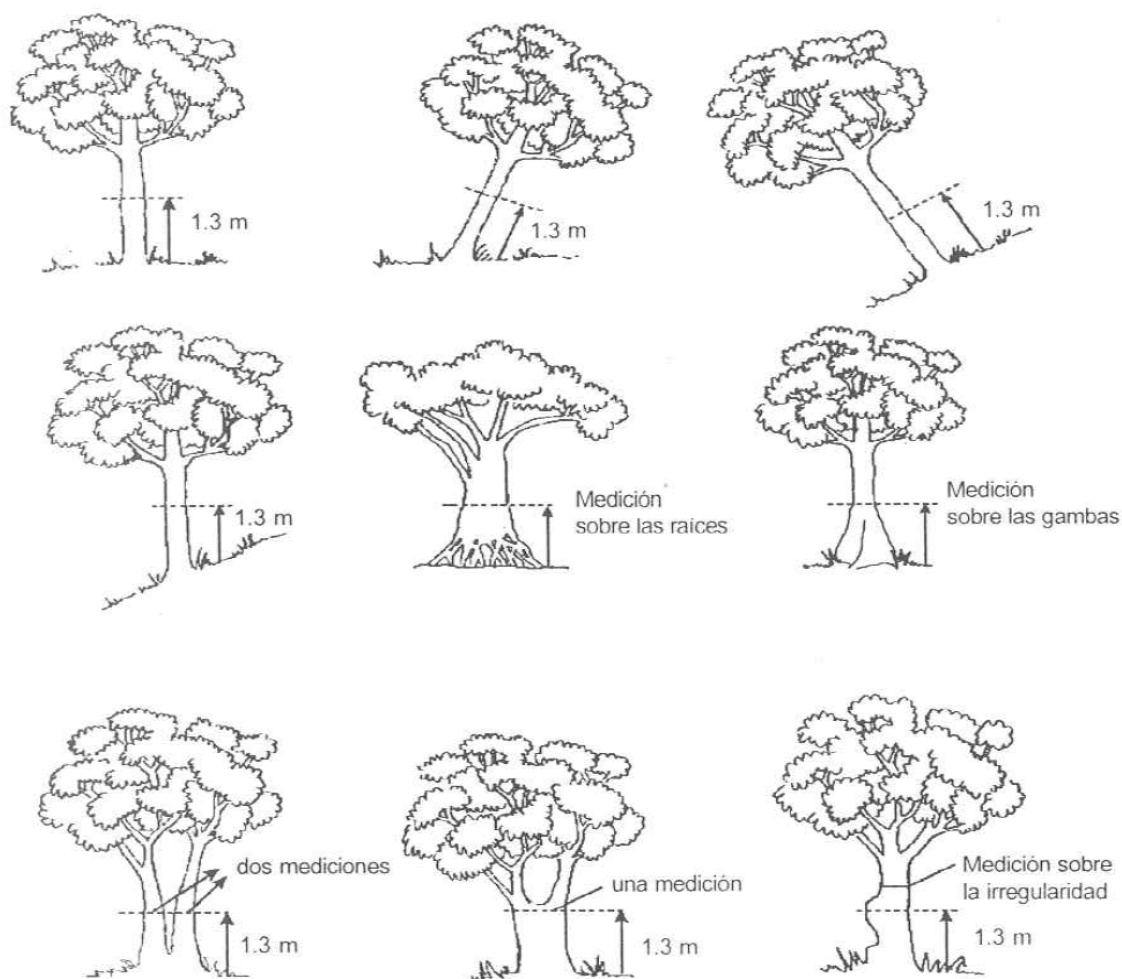
a la Altura del Pecho) y la georreferenciación, identificación botánica y etiquetado de cada individuo dentro de la parcela. El análisis de los datos se realizó entre julio y septiembre de 2024, seguido de la evaluación de los resultados, que se llevó a cabo de octubre a noviembre de 2024. Finalmente, la elaboración de los resultados finales se completó entre diciembre de 2024 y febrero de 2025.

Sin embargo, para cuantificar el stock de la biomasa se utilizó un método no destructivo, midiendo a cada individuo el DAP a 1.30 m sobre el nivel del suelo. Además, se registró, el género, especie y la familia botánica de cada individuo con el DAP mayor o igual a 10 cm. En suma, a cada individuo, se le asignó un número de identificación único dentro de cada parcela. Dicho número se ubicó en el árbol con pintura y en la placa (Paniagua, 2023).

La medición del DAP se realizó tomando en cuenta los criterios establecidos por Camacho (2000), quien las describe con las siguientes cinco consideraciones: 1. los árboles que se encuentran en laderas se miden sobre la parte superior de la pendiente. 2. los árboles inclinados se miden a 1.30 m del suelo medido en relación con la inclinación del eje principal del árbol. 3. los árboles con bifurcaciones antes del 1.30 m se registran como ejes individuales. 4. los árboles con protuberancias a la altura del DAP se miden en la parte superior de donde termina la protuberancia. 5. los árboles con gambas o raíces zancudas se miden en la parte más alta donde termina la gamba o las raíces, entre otros (Fig. 3).

Figura 3

Criterios empleados para la medición del diámetro de referencia en árboles con diferente forma de fuste.



Fuente: (Camacho, 2000), (Anexo 8).

Propuesta de manejo ambiental para la RNVSPBV

Para la formulación de la propuesta de manejo ambiental de la RNVSPBV, se consideraron los resultados obtenidos en este estudio, revisión bibliográfica, la guía para el diseño y formulación del plan general del manejo de las áreas silvestres protegidas de Costa Rica (Artavia, 2016).

Resultados

Identificación de especies forestales

Las familias Moraceae, Fabaceae y Lauraceae son las más diversas con 4 especies cada una y en conjunto representan el 24.4% del total de especies de la RNVSPBV (Figura 4 A). La especie con el mayor número de árboles es la Clusiaceae con 72 individuos y representa el 24.8% del total de árboles, de esta familia *Garcinia intermedia* (Pittier) Hammel la especie más común con 50 individuos, seguido de *Symphonia globulifera* - L. f. con 22 individuos (Figura 4 B).

Además, de los 290 individuos cuantificados, ellos pertenecen a 45 especies de árboles, representadas en 30 familias botánicas. En ese sentido, las especies con mayor índice de abundancia relativa fueron: jorco *Garcinia intermedia* (Pittier) Hammel, con 50 individuos y canelo *Ocotea veraguensis* - (Meisn.) Mez con 31 individuos; guarumo *Cecropia peltata* - L. y cerillo *Symphonia globulifera* - L. f. con 22 individuos.

Con respecto a las especies con menor índice de abundancia relativa fueron el cortez negro *Tabebuia impetiginosa* - (Mart. ex DC.) Standl., ceiba *Ceiba pentandra* - (L.) Gaertn., chocoyito *Diospyros nicaraguensis* (Standl.) Standl. y chilamate *Ficus insípida* - Willd., todos con un individuo. De manera que, se llegó a identificar que las especies más amenazadas según La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) y el Convenio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES) fueron el tempisque *Sideroxylon capiri* - Willd. con un individuo y el sangrillo con 2 individuos sangrillo *Machaerium biovulatum* - Micheli (Anexo 1).

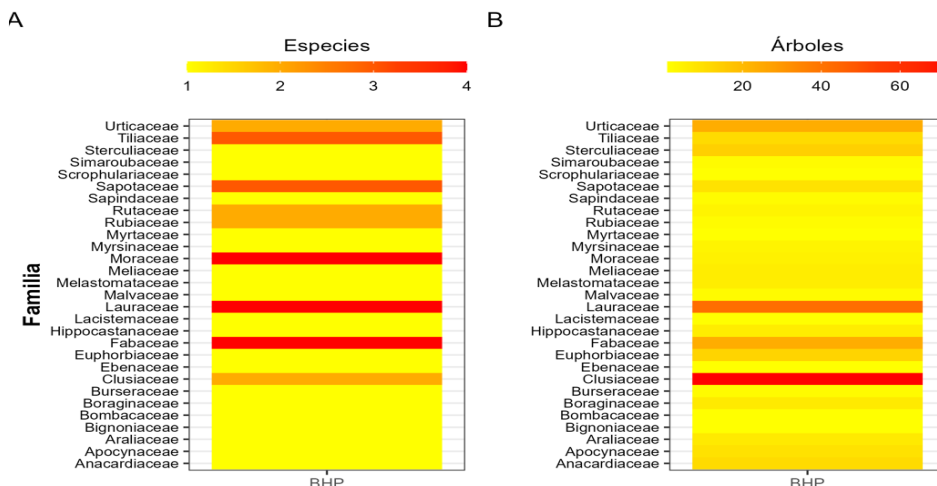
Por otro lado, dentro de las PPM se analizaron aspectos relacionados con el potencial de la especie con mayor stock o cantidad de carbono, dando como resultado la especie del árbol de guanacaste *Enterolobium cyclocarpum* - (Jacq.) Griseb con un total de 7.57 t de C, mientras que la especie con menor capacidad fue el chaperno *Lonchocarpus parviflorus* Benth con un total de 0.02 t de C (Anexo 2).

Así, la especie identificada con mayor cantidad de biomasa fue el guácimo colorado o guácimo molenillo *Luehea seemannii* - Triana & Planch., con 2.37 t; mientras que la especie identificada con menor stock fueron hoja salve *Buddleja americana* L. y chaperno *Lochocarpus parviflorus* Benth con 0.03 t.

De la misma manera, la familia con mayor stock de carbono y biomasa fueron las Fabaceae con 16,99 t de C y con 8,32 t de biomasa; mientras que con la menor biomasa (B) encontré la familia Scrophulariaceae con un 0.03 t y 0.02 t de carbono, respectivamente (Anexo 3).

Figura 4

Modelos de dominancia basados en el número de especies arbóreas (A) e individuos (B) para cada familia de plantas, en el bosque húmedo tropical del RNVSPBV.



Fuente: Elaboración propia (2025).

Estimación del stock de biomasa, carbono por hectárea (ha).

Con respecto a la cantidad máxima de biomasa por hectárea, esta se encontró en la parcela de monitoreo permanente número tres, con un total de 297.70 t ha⁻¹. Dicha biomasa representa 145.9 t ha⁻¹ de carbono (C) que traducido en remociones de dióxido de carbono equivalente (CO_{2e}) sería un secuestro de 535.31 t ha⁻¹ (Tabla 1).

En cuanto a la cantidad mínima de biomasa por hectárea, esta se encontró en la parcela de monitoreo permanente número uno, con un total de 128.71 t ha⁻¹. Dicha biomasa representa 62.6 t ha⁻¹ de carbono (C), que traducido en remociones de dióxido de carbono equivalente (CO_{2e}) sería un secuestro de 229.72 t ha⁻¹ (Tabla 1).

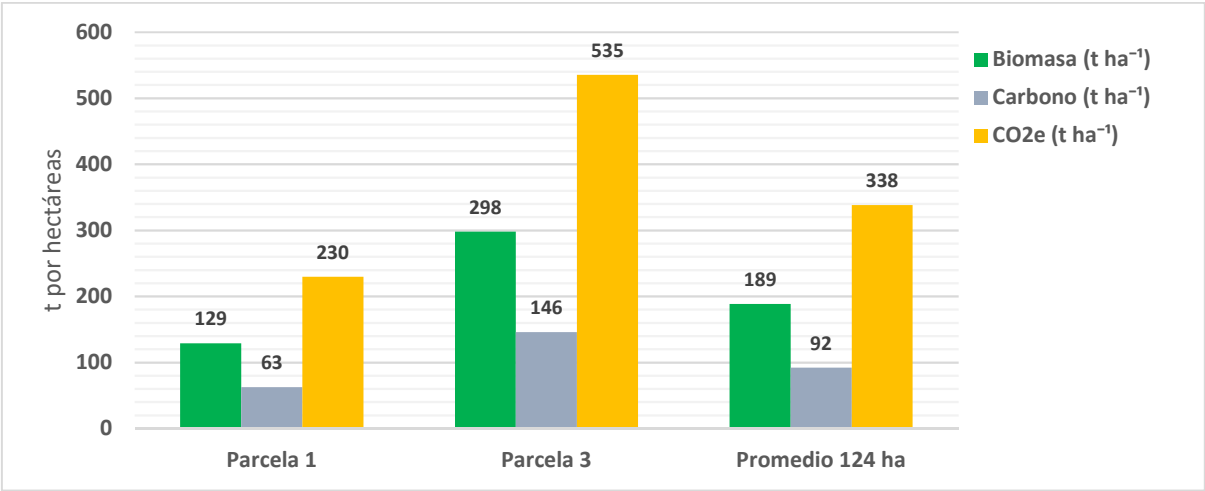
Para el caso de la totalidad de biomasa y carbono almacenado dentro de las 124 ha de bosque secundario del Refugio Nacional de Vida Silvestre Privada de Buena Vista, con un promedio de 580 árboles por hectárea, calculada para junio del 2023 fueron de 23 391.86 t de biomasa, que equivalen a 92.12 t de carbono y que para efectos de remoción en CO_{2e} sería de un total de 41 923.16 t (Tabla 1).

Al pasar los datos anteriores a valores por hectárea, se obtuvo un promedio total de la cantidad de biomasa almacenada en la superficie arbórea equivalente a 188.64 t ha⁻¹, lo cual equivaldría a 92.12 t ha⁻¹ de carbono. En ese mismo orden de ideas, la cantidad del dióxido de carbono (CO₂) secuestrado a junio del año 2023 fue de 338.09 t ha⁻¹.

La determinación del stock de biomasa, carbono y CO₂ equivalente (CO_{2e}) por hectárea (Fig. 5) es un proceso crucial en investigaciones de cambio climático, gestión forestal sustentable, agricultura regenerativa y proyectos de reducción de emisiones. Este tipo de estudio posibilita medir la cantidad de carbono que los ecosistemas terrestres (principalmente los bosques y sistemas agroforestales) son capaces de capturar y guardar, contribuyendo así a atenuar el calentamiento global (Pacheco-Quesada, 2021).

Figura 5

Estimación del stock de biomasa, carbono y CO₂ equivalente (CO_{2e}) por hectárea.



Fuente: Elaboración propia (2025).

Para el área basal se observa un coeficiente de variación del 25,1%, lo que sugiere un bosque de características homogéneas. También se muestra que el error de muestreo del 17.9% está por debajo del error máximo aceptado para inventarios forestales, lo que supone resultados con un nivel de confianza del 95%.

Tabla 1

Stock de biomasa, carbono, dióxido de carbono (CO₂), árboles dentro del RNVSPBV.

Parcela Permanente Monitoreo (PPM)	Total (árboles ha ⁻¹)	Área basal (m ² ha ⁻¹) [†]	Toneladas totales por hectárea (t ha ⁻¹)		
			Biomasa (B)	Carbono (C)	Dióxido de carbono equivalente (CO _{2e})
1	760	27.10	128.71	62.6	229.72
2	720	38.26	203.84	99.6	365.54
3	340	51.76	297.70	145.9	535.31
4	380	26.85	142.58	69.6	255.61
5	480	35.69	193.26	94.5	346.75
6	580	27.82	135.17	65.8	241.46
7	700	35.05	176.17	85.9	315.15
8	840	36.99	182.98	89.1	327.11
9	500	50.00	279.15	136.6	501.41
10	500	28.97	146.88	71.6	262.83
Promedio	580	35.85	188.64	92.12	338.09
Total, área boscosa:			23 391.86	11 423.20	41 923.16

[†]Resultados estadísticos descriptivos e inferenciales para el área basal por hectárea: E%: 17.98, S²: 81.17 CV:25.13%, S:9.01. Fuente: Elaboración propia (2025).

La figura 6 hace referencia al conjunto de variables que se cuantifican para evaluar o valorar el potencial de un bosque secundario en términos de su contribución al almacenamiento de carbono y su rol en la mitigación del cambio climático.

Figura 6

Stock de biomasa, carbono, dióxido de carbono (CO₂) en toneladas por ha, dentro del Refugio Buena Vista del Rincón.



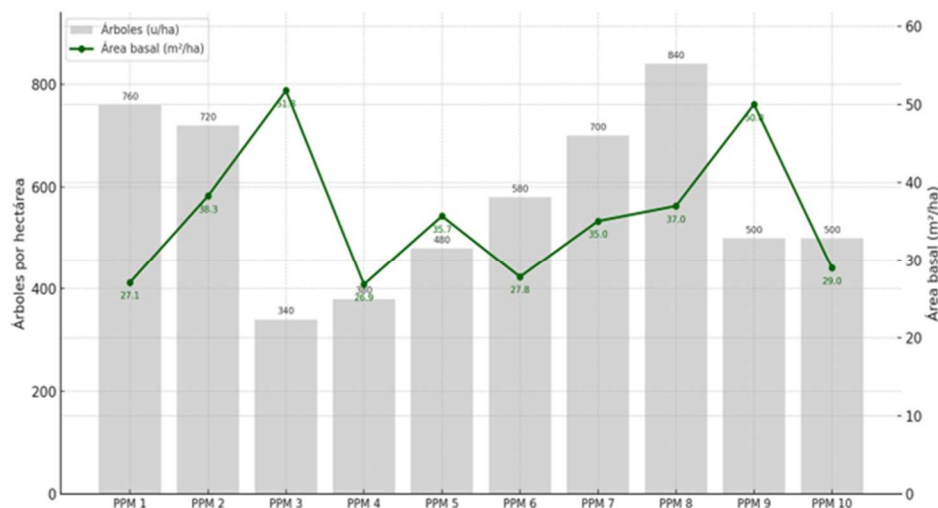
Fuente: Elaboración propia (2025).

Los valores del coeficiente de variación y el error de muestreo del área basal en las parcelas de monitoreo del Refugio Nacional de Vida Silvestre Privado Buena Vista, se muestran en la figura 7.

El coeficiente de variación, con un valor del 25.1%, indica que el bosque posee características relativamente homogéneas en cuanto a su estructura, lo cual refleja una distribución equilibrada del área basal entre las diferentes parcelas. Por otro lado, el error de muestreo, estimado en 17.9%, se encuentra por debajo del umbral máximo aceptado para inventarios forestales, lo cual valida la representatividad de los datos y garantiza un nivel de confianza del 95% en los resultados obtenidos y permite tomar decisiones informadas sobre la gestión del bosque.

Figura 7

Densidad de árboles y área basal por parcela permanente de monitoreo (ppm) en el bosque.



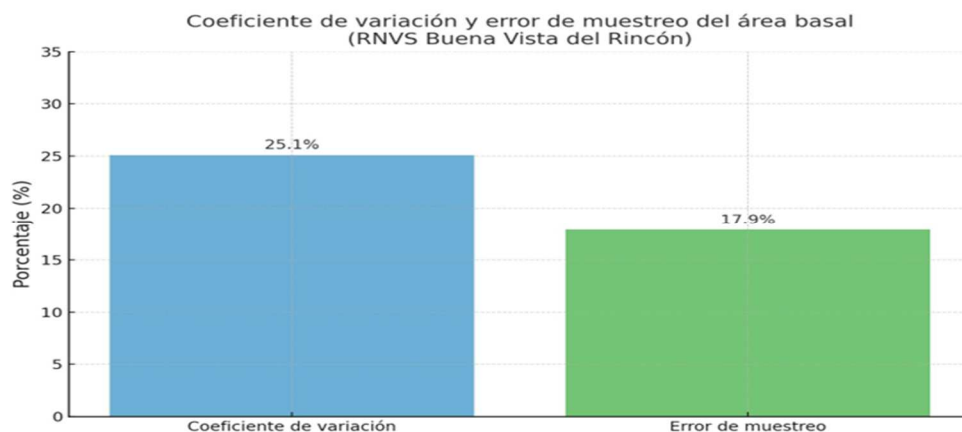
Fuente: Elaboración propia (2025).

La figura 8 presenta los valores del coeficiente de variación y el error de muestreo del área basal en las parcelas de monitoreo del Refugio Nacional de Vida Silvestre Privado Buena Vista.

El coeficiente de variación, con un valor del 25.1%, indica que el bosque posee características relativamente homogéneas en cuanto a su estructura, lo cual refleja una distribución equilibrada del área basal entre las diferentes parcelas. Por otro lado, el error de muestreo, estimado en 17.9%, se encuentra por debajo del umbral máximo aceptado para inventarios forestales, lo cual valida la representatividad de los datos y garantiza un nivel de confianza del 95% en los resultados obtenidos. Esto respalda la solidez estadística del monitoreo realizado y permite tomar decisiones informadas sobre la gestión del bosque.

Figura 8

Coeficiente de variación y error de muestreo del área basal en parcelas de muestreo.



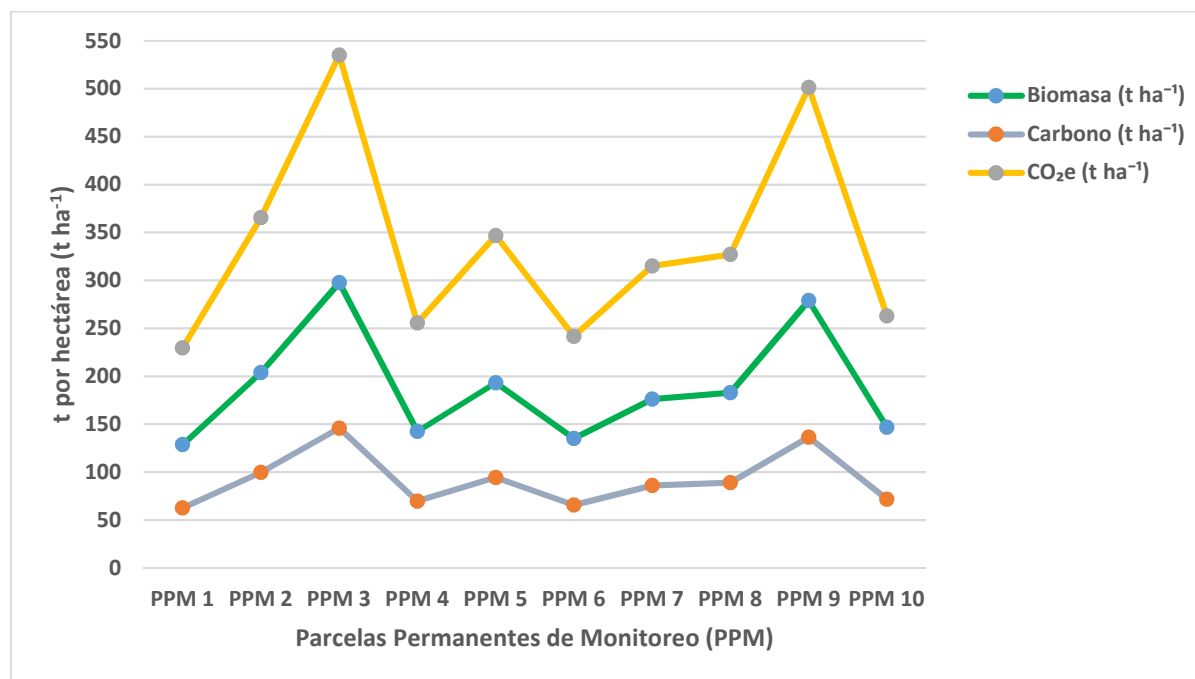
Fuente: Elaboración propia (2025).

La Figura 9 se observa la distribución y tendencia del stock de carbono forestal en las parcelas permanentes de monitoreo (ppm) dentro del Refugio Nacional de Vida Silvestre Privado Buena Vista. Se combinan tres variables clave: el número total de árboles por hectárea, el área basal y el dióxido de carbono equivalente (CO_2e). Las barras grises representan la densidad arbórea por hectárea, mientras que la línea verde con puntos muestra los valores del área basal registrados por parcela. Además, se incluye una línea discontinua que permite visualizar la tendencia general del área basal a lo largo de las diferentes parcelas. Se incorpora un punto negro con una barra de error roja que señala el promedio del área basal estimado en $35.85 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, acompañado de un margen de error del 17.9%. Este dato se complementa e indica que tanto el coeficiente de variación (25.1%) como el error de muestreo se encuentran dentro de los rangos aceptados para inventarios forestales, lo que respalda la homogeneidad estructural del bosque evaluado.

En este estudio, el monitoreo del carbono permite valorar no solo el estado de conservación del ecosistema, sino también su capacidad de actuar como un sumidero de carbono. Este tipo de análisis resulta crucial para comprender el papel ecológico que desempeñan estos sistemas boscosos en el contexto de la mitigación del cambio climático y la gestión sostenible del paisaje.

Figura 9

Distribución del stock de biomasa, carbono y CO_2e por parcelas permanentes de monitoreo en la RNVSPBV.



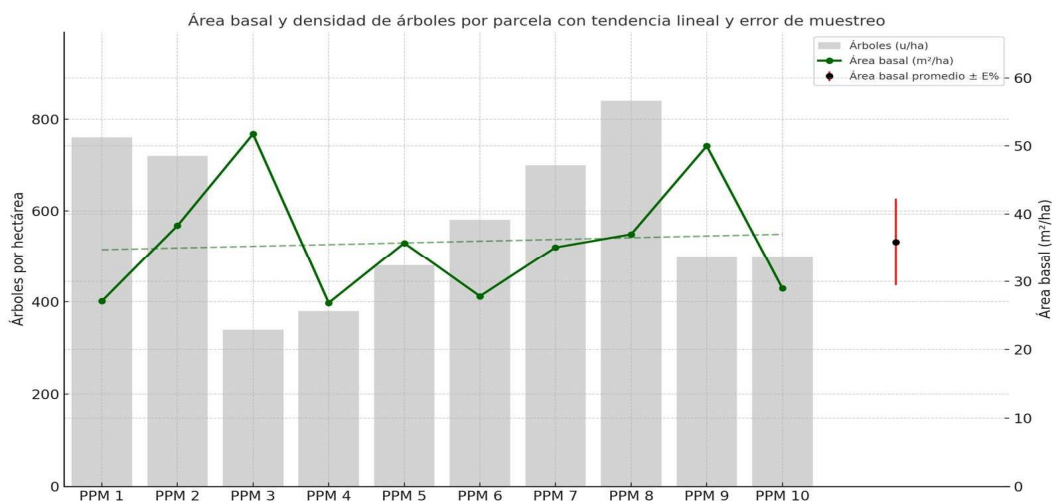
Fuente: Elaboración propia (2025).

La figura 10 complementa el análisis de la estructura del bosque al mostrar la relación entre la densidad arbórea y el área basal por parcela, junto con una tendencia lineal que permite identificar patrones en la biomasa estructural. La línea discontinua proyecta visualmente la tendencia del área basal, lo cual facilita detectar posibles anomalías o comportamientos consistentes entre parcelas.

Se incluye un punto de referencia para el valor medio del área basal ($35.85 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$), acompañado de una barra de error que representa el margen de muestreo ($\pm 17.9\%$), lo cual reafirma la validez estadística de los datos dentro de los parámetros aceptados para estudios forestales. Esta representación permite distinguir gráficamente la homogeneidad del bosque evaluado y detectar posibles parcelas atípicas, contribuyendo así a una interpretación más precisa de la estructura del ecosistema monitoreado.

Figura 10

Distribución del área basal y densidad arbórea con tendencia lineal y precisión de muestreo en bosque.



Fuente: Elaboración propia (2025).

Discusión

El cambio climático está directamente relacionado con el manejo y conservación de bosques tropicales, ya que estos almacenan una gran cantidad de biomasa y contribuyen a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (Quesada, 2011). El vínculo entre el cambio climático y la gestión de los bosques tropicales es fundamental desde una perspectiva ecológica y climática. Estos bosques, al ser grandes reservorios de biomasa, capturan y almacenan dióxido de carbono (CO_2) a través del proceso de fotosíntesis, funcionando como sumideros naturales de carbono. Una gestión adecuada que evite la deforestación y promueva la restauración forestal contribuye significativamente a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, mitigando así el calentamiento global.

Por el contrario, la pérdida o degradación de estos ecosistemas convierte ese carbono almacenado en nuevas emisiones, agravando el problema climático. Por ello, los esfuerzos de conservación y manejo sostenible no solo tienen beneficios locales para la biodiversidad, sino que también tienen un impacto directo en la lucha contra el cambio climático a escala global. En ese sentido, se realizó una propuesta de mejora para el RNVSPBV, la cual contiene elementos que fortalezcan su conservación mediante lineamientos de visión, misión y objetivos.

El primer aspecto tiene por finalidad brindar servicios ecosistémicos en alianza con el SINAC, el segundo se caracteriza por fortalecer los aspectos de conservación de los recursos naturales debido a la importancia en la generación de servicios ecosistémicos y el último aspecto, propone objetivos en articulación con la visión y la misión.

Berti (1999), expone que la recuperación de bosques en pastizales abandonados sigue siendo un proceso deficiente para una variedad de servicios ecosistémicos y medios de vida rurales en los trópicos. Considerando lo antes expuesto por Berti, la recuperación de bosques ya no es exclusivamente de los trópicos sino que también tiene que ver con otros ecosistemas como el caso presentado en esta investigación (bosque húmedo tropical); y en ese sentido, fue como se consolidaron las estrategias de conservación plasmados en el plan de manejo, de tal manera que coincida con lo expuesto por Granda et al., (2015), los factores de manejo en los bosques y sus interacciones, deben comprenderse si queremos conocer el potencial de los bosques secundarios para proporcionar servicios ecosistémicos desde escalas locales a globales.

Por otro lado, Galvez (2022), describe que la mayoría de las comunidades vegetales ricas en especies del mundo se encuentran en bosques tropicales, pero la transformación de la cubierta forestal en otros usos del suelo tiene un impacto significativo en la estructura y la dinámica de la vegetación. Para evitar lo antes mencionado es como se ha propuesto un objetivo general que promueva la conservación de los recursos naturales dentro del lugar de estudio y tres objetivos específicos que fortalecen el manejo actual y futuro del refugio.

En otras palabras, se quiere evitar lo expuesto por Villanueva et al., (2006) y Granda et al., (2015), las actividades humanas afectan las condiciones ambientales, producen cambios en las poblaciones, rangos de distribución, composición, estructura y funcionamiento de los ecosistemas debidos a las variaciones en el clima. Mientras que el segundo expuso que el funcionamiento del abanico actual de impulsores del cambio global provoca la degradación, fragmentación y pérdida de la biodiversidad de los ecosistemas forestales, así como los servicios ecosistémicos que proporcionan.

Mientras tanto, Granda et al., (2015), indican que en bosques restaurados por sucesión natural secundaria en el Golfo de Nicoya se registraron 3 851 individuos con DAP ≥ 5 cm en las 53 parcelas de 0.12 ha, correspondientes a 3813 árboles, 10 palmas y 28 lianas. Del total de especies, una se identificó a nivel de familia (un individuo), ocho a nivel de género 24 individuos y 166 a nivel de especie 3809 individuos; dos especies correspondieron a palmas y cuatro a lianas. Este valor de riqueza total de especies con >5

cm DAP en un área total muestreada de 6.36 ha, desde muchas perspectivas no es despreciable, pero es probablemente inferior a la riqueza de los bosques originales del paisaje.

Así las cosas, el estudio realizado dentro del RNVSPBV, se logró cuantificar 11 600 individuos por la totalidad del área de la reserva 580 individuos por ha y el refugio cuenta con un área total de 124 ha pertenecientes al menos a 45 especies de árboles, representadas en al menos 30 familias botánicas.

Granda et al., (2015), indican que los bosques no se desarrollarían sin árboles semilleros, por lo que la calidad y diversidad de las especies que se establezcan estarán fuertemente influenciadas por este factor. En ese sentido, con esta investigación realizada dentro del Refugio Nacional de Vida Silvestre Privado Buena Vista (RNVSPBV), se encontraron al menos 120 árboles semilleros y que además cuentan con algún grado de vulnerabilidad.

Por lo tanto, Díaz et al., (2012), menciona que la base para establecer programas de restauración y gestión forestal es comprender la relación entre las especies vegetales y su hábitat, proponiendo las especies de árboles y arbustos más adecuadas para cada sitio ecológico.

Se debe agregar que, con esta investigación se apoya lo descrito anteriormente por Díaz, conservando las especies arbóreas encargadas de producir alimentos y oxígeno dentro del refugio del hotel, así como de brindar refugio y alimento a otros animales; otro caso es que; con dicha conservación, el equilibrio se mantiene entre la población animal y vegetal debido a que los herbívoros se alimentan de las hierbas y los carnívoros de los herbívoros. Sumado a lo anterior, con esta investigación también se apoya con lo descrito por Díaz et al., (2012), cuando expuso que el equilibrio del bosque cambia con el tiempo y que en la misma medida ocurren adaptaciones del ecosistema a su entorno, pudiendo afectar en la supervivencia de las plantas debido al cambio climático.

Así mismo Villanueva et al., (2006), afirman que conocer la distribución de las especies forestales y el estado de los árboles es esencial por muchas razones, incluida una selección adecuada de especies y su patrón geográfico, que son la base de los programas de reforestación y restauración de ecosistemas degradados. Los resultados de la investigación concuerdan con lo expuesto anteriormente por Villanueva, ya que antes de este trabajo de investigación, no existía información sobre la reserva que guiará un proceso ordenado de manejo en la toma de decisiones.

Además, debemos recalcar el valor de preservar los bosques secundarios que actúan como recursos de madera, resguardan el suelo frente a la erosión, poseen un elevado índice neto de fijación de carbono atmosférico, actúan como refugio y fuentes de sustento para las especies de flora y fauna, entre otros, (Gálvez, 2022). En ese sentido, dentro del refugio se encontraron especies arbóreas con altos índices de secuestro de carbono y muchas especies productoras de fuentes de alimentos para la vida silvestre que pueda desplazarse por el refugio del hotel.

Al mismo tiempo, Gálvez (2022), los bosques secos tropicales en el neotrópico son ecosistemas amenazados debido al clima y la calidad del suelo. En ese sentido Granda et al., (2015), enfatizaron, que los bosques secos tropicales se caracterizan por estar en zonas con una época seca muy marcada. Lo anterior fue reforzado por Bravo, (2021), cuando expuso que gran parte del área del bosque seco tropical se encuentra extinta, y que es uno de los ecosistemas más amenazados que tienen altos niveles de fragmentación; son principalmente vegetación secundaria. Así mismo, el bosque del refugio es el único bosque con que cuenta la propiedad del hotel Buena Vista del Rincón, por lo cual es muy importante su conservación y manejo.

Según la investigación realizada por (Vílchez Alvarado et al., 2008), los bosques secundarios se recuperan relativamente rápidamente en términos de área basal y biomasa

aérea. Según lo descrito anteriormente, el Refugio Nacional de Vida Silvestre Privado Buena Vista (RNVSPBV) se ha dejado en regeneración natural desde el año 1991, y desde entonces, no se habían realizado estudios de ninguna categoría, por lo que las bases de esta investigación podrían contribuir a generar lineamientos relacionados con otros estudios que fortalezcan su conservación.

En otro estudio llevado a cabo por Granada et al., (2015), en la península de Nicoya en Costa Rica encontraron lo siguiente: el número de individuos por hectárea fue de 1552, 935 y 1209, mientras que el área basal en el estadio temprano fue de $9.64 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, el estadio intermedio presentó $20.32 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, mientras que el estadio tardío obtuvo el valor más alto con $30.37 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$. Por lo tanto, al comparar el mayor de los resultados expuestos anteriormente, con los encontrados en el refugio privado del hotel, el área basal reportada en la síntesis de esta investigación fue de $35.85 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, un tanto superior a los resultados de Nicoya, con menor número de individuos por ha (580).

Por otro lado, Powers et al., (2009), indicaron que la riqueza de la especie puede recuperarse a medida que avanza el período de abandono; sin embargo, la composición de la especie puede variar durante mucho tiempo o incluso nunca alcanzar la riqueza del bosque original. De igual manera, Sezen et al., (2005), recalca que la regeneración se basa en la presencia de unos pocos árboles madre cercanos al lugar y que los procesos de colonización causan problemas de diversidad genética en las poblaciones de especies dominantes. Sin embargo, la diversidad genética perdida puede ser recuperada con el tiempo.

Así, Bravo (2021), en otras de sus conclusiones describió que: Se puede ver cómo cambia el predominio de algunas especies a medida que avanzamos en el estadio sucesional del bosque utilizando el cálculo del Índice de Valor Importancia (IVI). Así las cosas, al comparar los resultados expuestos con los encontrados en el RNVSPBV, las especies que predominan en toda la reserva fueron el jorco con un IVI del *Garcinia intermedia* (Pittier) Hammel 11.63%, el segundo lugar fue para el cucaracho *Billia colombiana* - Planch. & Lindl., el guanacaste *Enterolobium cyclocarpum* - (Jacq.) Griseb. y el canelo *Ocotea veraguensis* - (Meisn.) Mez cada uno con un IVI de 6,63%.

En otro orden de ideas, Henao et al., (2015), indican que es necesario fomentar estrategias que fomenten la restauración de estas especies vegetales en la región del bosque seco, como la regeneración natural o la plantación. Las principales amenazas que enfrentan las especies vegetales en la región del bosque seco son su escasa producción y dispersión de semillas, su lento crecimiento y la sobreexplotación de las poblaciones debido a su alto valor comercial. Durante el desarrollo del estudio del refugio, se encontraron especies que, a diferencia de las especies expuestas por Henao et al., (2015), son de alta capacidad de producción de semillas, siendo estas el cortez, negro *Tabebuia impetiginosa* - (Mart. ex DC.) Standl, chocoyito *Diospyros nicaraguensis* (Standl.) Standl. y ceiba *Ceiba pentandra* - (L.) Gaertn., presentando además un índice de abundancia relativa muy baja. Además, el tempisque *Sideroxylon capiri* - Willd. y el sangrillo *Machaerium biovulatum* - Micheli fueron las especies que se encuentran amenazadas según La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) y el Convenio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES).

Por otro lado, en bosques secos, no suele haber una etapa de dominancia por especies de vida corta; las primeras especies en colonizar áreas agropecuarias abandonadas pueden permanecer dominantes durante décadas o incluso siglos, con una gran representación de especies de la familia Fabaceae (Janzen, 1981). Los resultados de esta investigación coinciden completamente con lo expresado por Janzen (1981), siendo las fabáceas la familia con la mayor representatividad porcentual por hectárea con un 18.01%, con una estimación de cantidad de biomasa y carbono equivalentes a 33.98 t ha^{-1} y 16.64 t ha^{-1} respectivamente.

Así las cosas, uno de los principales hallazgos de la investigación fue que el árbol de guanacaste fue la especie con mayor stock de carbono en la reserva con un total de 7.57 t de C, y según Granada et al., (2015) es considerada por el sector maderero nacional como madera dura, fina y decorativa y además según (Quesada-Monge y Quirós-Brenes, 2003), el árbol de guanacaste fue la especie más utilizada según los registros de permisos forestales que se tramitaron en el cantón de Nicoya.

Janzen (1982), describe que la especie Sterculiaceae guacimo ternero *Guazuma ulmifolia* - Lam. son probablemente una de las especies arbóreas cuyos frutos habrían sido comidos y las semillas dispersadas por la megafauna herbívora del Pleistoceno que una vez vagó por América Central. Dichas especies, fueron las que se encontraron con mayor cantidad de biomasa con 7.82 t ha⁻¹.

Finalmente, según (Chacón-León y Harvey, 2013), a medida que aumenta la densidad de árboles (árboles ha⁻¹) y el área basal (m² ha⁻¹), aumentan las reservas de biomasa y carbono. Se debe enfatizar la necesidad de conservar árboles de mayor tamaño y aumentar la densidad de árboles en los potreros para potencializar aún más la mitigación del cambio climático (Chacón-León y Harvey, 2013). Por el contrario, con lo expuesto por Chacón-León y Harvey, (2013), en el estudio del refugio no sucedió así, dependiendo de la especie arbórea, densidad y otras, así fue la cantidad de reservas de biomasa y carbono.

Conclusiones

El bosque del Refugio Nacional de Vida Silvestre Privado Buena Vista (RNVSPBV) presenta una composición florística notable en términos de riqueza y diversidad. Se identificaron 290 individuos arbóreos distribuidos en 45 especies pertenecientes a 30 familias botánicas. Entre estas, Clusiaceae, Urticaceae y Lauraceae pertenecen a las familias con mayor índice de abundancia relativa, destacando por su predominancia estructural en el ecosistema. En contraste, las familias Moraceae, Bignonaceae, Bombaceae y Ebenaceae mostraron los niveles más bajos de representación. De forma particularmente significativa, se identificaron dos especies amenazadas: tempisque *Sideroxylon capiri* - Willd. y sangrillo *Machaerium biovulatum* - Micheli, ambas categorizadas en peligro de extinción, lo cual subraya el valor de conservación de esta área protegida.

En términos de diversidad específica, las familias Moraceae, Fabaceae y Lauraceae pertenecen a las familias más diversas, con cuatro especies cada una, lo que equivale al 24.4% del total de especies inventariadas. A nivel de dominancia, la familia Clusiaceae fue la más numerosa con 72 individuos, representando el 24.8% del total de árboles registrados. Dentro de esta, jorco *Garcinia intermedia* (Pittier) Hammel fue la especie más común con 50 individuos, seguida por tempisque *Sideroxylon capiri* - Willd. con 22. Esta distribución sugiere una estructura forestal donde algunas especies tienden a dominar espacialmente, mientras otras mantienen un rol de menor presencia ecológica.

En lo que respecta al almacenamiento de carbono, el refugio presentó una media de 188.64 t ha⁻¹ de biomasa aérea seca, lo que equivale a 92.12 t ha⁻¹ de carbono. Al escalar estos datos al área total del refugio 124 ha, se estimó un stock total de carbono de 11 423.20 t, lo que se traduce en una capacidad de remoción de dióxido de carbono equivalente CO₂e de 41 923.16 t. Este valor representa un aporte significativo al balance de carbono nacional y evidencia el potencial de los bosques como sumideros efectivos en el contexto de la mitigación del cambio climático.

Desde una perspectiva estadística, los datos del área basal mostraron un promedio de 35.85 m² ha⁻¹ con una desviación estándar de 9.01, una varianza S² de 81.17, y un coeficiente de variación CV del 25.13%, indicando una estructura forestal relativamente homogénea en términos de distribución de masa vegetal por unidad de superficie. Asimismo, el error de muestreo del 17.98% se situó por debajo del umbral máximo aceptado en inventarios forestales, lo que otorga un nivel de confianza del 95% en los resultados obtenidos. Esta precisión valida la representatividad del muestreo y refuerza la utilidad de los datos para la toma de decisiones en el manejo del área.

En cuanto al aporte de carbono por familia botánica, las Fabaceae fueron las que contribuyeron con la mayor cantidad de biomasa y carbono almacenado, seguido por otras como Clusiaceae y Lauraceae. Ejemplo especies de Fabaceae son: guanacaste *Enterolobium cyclocarpum* - (Jacq.) Griseb., Cuajiniquil *Inga punctata* Willd., chaperno *Lonchocarpus parviflorus* Benth., sangrillo *Machaerium biovulatum* - Micheli. En cambio, familias como Sapotaceae presentaron valores inferiores. Algunos ejemplos de sapotaceas nispero *Manilkara zapota* - (L.) Royen, nisperillo o zapotillo *Pouteria campechiana* - (Kunth) Baehni, tempisque *Sideroxylon capiri* - Willd. Esta heterogeneidad funcional refleja la importancia de la composición florística en la dinámica de almacenamiento de carbono en bosques tropicales secundarios. Desde el punto de vista económico, varias especies producen frutos comestibles de alto valor nutricional y comercial, como el zapote mamey *Pouteria sapota* y el níspero *Manilkara zapota*. Otra especie, como goma de mascar *Manilkara chicle*, tienen un historial de uso por su látex natural y su madera altamente resistente, utilizada en construcción.

Los árboles de la familia Sapotaceae son elementos importantes en los bosques tropicales por su alto valor ecológico, económico y funcional. Desde una perspectiva ecológica, muchas de estas especies son de crecimiento lento, con madera densa que les permite almacenar grandes cantidades de carbono, convirtiéndolos en sumideros de carbono. Este alto potencial de almacenamiento de carbono los convierte en actores esenciales para la mitigación del cambio climático.

Además, sus frutos son una fuente importante de alimento para la fauna silvestre, como aves, murciélagos y monos, lo que les confiere un papel en la dispersión de semillas y la regeneración natural del bosque. Su presencia en bosques primarios y secundarios también los hace relevantes en procesos de restauración ecológica y en programas de monitoreo del carbono forestal. En general, los árboles sapotáceos destacan por su resiliencia, su rol estructural en el bosque y su capacidad de adaptación a diferentes condiciones ecológicas.

La existencia de registros confiables de biomasa y carbono en propiedades privadas incluidas en esquemas de Pago por Servicios Ambientales (PSA) es esencial para valorar económicamente los servicios ecosistémicos que ofrecen. El cálculo preciso del carbono secuestrado permite no solo su eventual comercialización en mercados internacionales, sino también establecer mecanismos de compensación justa. En este sentido, se enfatiza que los montos recibidos por PSA deberían, al menos, igualar el valor económico que los propietarios podrían obtener si destinaran sus tierras a otras actividades productivas, garantizando así la sostenibilidad del modelo de conservación.

Finalmente, el refugio cumple una función ecológica clave como núcleo de reproducción y regeneración natural. En un entorno caracterizado por presiones como los incendios forestales y la expansión agropecuaria, estas áreas funcionan como refugios de biodiversidad y reservorios genéticos. Por ello, la propuesta de manejo debe enfocarse en asegurar la regeneración del bosque, minimizar las perturbaciones antrópicas y fortalecer las capacidades locales de prevención y respuesta frente a eventos como incendios o fragmentación del hábitat. La sostenibilidad de estos espacios depende de una planificación basada en ciencia, conservación y desarrollo rural inclusivo.

Recomendaciones

1. Conservación y manejo ecológico del bosque secundario

Se recomienda implementar y reforzar prácticas de restauración ecológica en la RNVSPBV a través de estrategias como el fomento de la regeneración natural, la plantación de árboles nativos en potreros, y el establecimiento sistemático de cercas vivas. Estas prácticas no solo favorecen la conectividad ecológica entre fragmentos de bosque, sino que también aumentan progresivamente el almacenamiento de carbono en el paisaje, generando un impacto positivo tanto en la biodiversidad como en la mitigación del cambio climático.

En particular, la regeneración natural debe ser gestionada con criterios técnicos que aseguren la protección de plántulas en crecimiento y la exclusión del ganado donde sea necesario, a fin de garantizar un desarrollo estructural adecuado del bosque secundario. Además, se sugiere incluir estas actividades dentro de los componentes financiables del programa de Pago por Servicios Ambientales (PSA), con el fin de incentivar la participación de propietarios privados en la conservación a largo plazo.

Adicionalmente, debido a la presencia documentada de especies en peligro de extinción como *Sideroxylon capiri* - Willd. tempisque y sangrillo *Machaerium biovulatum* - Micheli, se hace necesaria la formulación de planes específicos de recuperación para dichas especies. Estos planes deben considerar las condiciones edafoclimáticas, socioeconómicas y culturales del contexto local, asegurando que las estrategias de manejo no solo sean ecológicamente viables, sino también socialmente aceptables y sostenibles.

Se sugiere que en futuras investigaciones se realicen escenas de teledetección para carbono, para conocer otros panoramas.

2. Gestión institucional y operativa del refugio

La relación entre la gestión institucional y operativa del refugio y sus socios claves el Área de Conservación Guanacaste (ACG) y la Estación Experimental Forestal Horizontes (EEFH) debe ser de coordinación, complementariedad y formalización.

Es fundamental establecer un convenio de cooperación interinstitucional (CCI) o un acuerdo de manejo tripartito, así como un plan de manejo técnico-operativo para el Refugio Nacional de Vida Silvestre Privado Buena Vista que defina de forma clara los roles, funciones y compromisos. Alinear los objetivos de conservación del refugio con las prioridades del ACG como institución rectora y las de investigación de la estación biológica horizontes. La gestión del refugio debe ser compatible y no contraria a las directrices de conservación y manejo del ACG, especialmente en áreas como manejo de fuego, control de especies invasoras o patrullaje. Este instrumento debe contemplar componentes básicos como la rotulación de zonas críticas, el mantenimiento preventivo de cortafuegos, la vigilancia participativa, la limpieza de linderos y senderos, y el monitoreo de amenazas como incendios forestales, cacería, tala no autorizada.

Debe existir un canal de comunicación constante y eficiente para la toma de decisiones basada en la ciencia. La relación debe estar formalizada por escrito para garantizar la continuidad y el cumplimiento de los compromisos a largo plazo. Los datos científicos y de monitoreo del refugio deben fluir hacia el ACG y la EEFH para su análisis y viceversa. Establecer reuniones de coordinación trimestrales o semestrales con representantes de las tres entidades para revisar avances, evaluar indicadores y planificar acciones conjuntas; por ejemplo: actividades de educación ambiental o proyectos de restauración.

La relación ideal no es de subordinación, sino de alianza estratégica donde las tres partes se ven beneficiadas y fortalecen la conservación de la biodiversidad en la región.

El plan de manejo también debe contar con un cronograma de actividades calendarizado y un presupuesto específico, para asegurar la ejecución efectiva de las acciones y su seguimiento administrativo. La asignación de recursos debe ser proporcional al valor ambiental del área y a su potencial como sumidero de carbono, tal como se ha demostrado en este estudio.

Además, se sugiere que la empresa propietaria del refugio formalice su compromiso ambiental mediante políticas internas de sostenibilidad, integrando el manejo forestal como parte de su estrategia empresarial y de responsabilidad social corporativa. Esto no solo generará beneficios ecológicos, sino también valor reputacional en el mercado turístico y de servicios ambientales.

3. Monitoreo ecológico y seguimiento técnico continuo

Dado el valor de los datos obtenidos en este estudio, se recomienda establecer un sistema permanente de monitoreo ecológico, estructurado sobre las parcelas ya inventariadas, y complementado con nuevas unidades si se amplía el alcance del análisis. Este sistema permitirá mantener actualizada la información sobre el crecimiento forestal, la acumulación de biomasa y el secuestro de carbono a lo largo del tiempo.

Las variables por incluir en este monitoreo deben ser: diámetro a la altura del pecho (DAP), altura total estimada, estado fenológico, estado fitosanitario, y cambios en la cobertura vegetal. La frecuencia de medición debe ser anual, idealmente al final de la temporada lluviosa, cuando las condiciones de visibilidad y acceso son más favorables, y los árboles presentan menor variabilidad hídrica.

Es importante que cada parcela cuente con una ficha técnica, registros georreferenciados, y un protocolo de monitoreo homologado. La responsabilidad de esta tarea puede asignarse al personal capacitado del hotel con ACG, pero siempre con un seguimiento sistemático que permita comparabilidad de datos en el tiempo.

4. Seguridad operativa y logística de campo

Antes de establecer nuevas parcelas permanentes de monitoreo, se recomienda realizar recorridos preliminares con personal con profundo conocimiento del terreno, con el objetivo de seleccionar zonas representativas, accesibles y seguras. Esto es especialmente importante en áreas con pendientes pronunciadas, vegetación densa o difícil visibilidad, donde podrían presentarse riesgos físicos o desorientación.

Durante las actividades de campo, es altamente recomendable que la recolección de datos sea realizada por al menos dos personas, por razones de seguridad y eficiencia. Este enfoque colaborativo no solo facilita la toma de mediciones, sino que también permite el control cruzado de errores y la documentación fotográfica o audiovisual de los procesos.

Además, se debe contar con protocolos de seguridad y comunicación para quienes realicen trabajo de campo, incluyendo horarios definidos, equipos de protección personal, y rutas previamente trazadas, especialmente si las parcelas están ubicadas lejos del centro operativo del hotel.

5. Articulación con la gestión ambiental del hotel

Se recomienda que los resultados del presente estudio sean compartidos y discutidos con el equipo de gestión ambiental del hotel Buena Vista del Rincón, a fin de integrarlos dentro de las políticas de manejo ambiental y turismo sostenible que la empresa implemente. Esta articulación permitirá que los resultados científicos se traduzcan en acciones operativas concretas y medibles.

Además, es clave capacitar al gestor ambiental o al personal técnico del hotel en la metodología de monitoreo utilizada como la aplicación de ecuaciones alométricas y el uso de instrumentos de medición. De esta manera, se garantiza que los inventarios forestales puedan actualizarse periódicamente de forma autónoma, sin depender exclusivamente de asesorías externas.

Este tipo de transferencia de capacidades también permite fortalecer la cultura de conservación dentro de la empresa y posicionar al hotel como un actor activo en la protección de los recursos naturales.

6. Uso de metodologías eficientes y replicables

Finalmente, se recomienda adoptar de manera sistemática el uso de ecuaciones alométricas para la estimación de biomasa aérea y carbono en futuras evaluaciones dentro del RNVSPBV. Estas herramientas demostraron ser altamente útiles en este estudio, ya que permitieron realizar estimaciones confiables sin la necesidad de medir altura total de cada árbol, lo que optimizó el tiempo y los recursos humanos requeridos. Así como la implementación de teledetección para carbono y poder hacer escenas.

Además, la estandarización de esta metodología permite que los resultados obtenidos sean replicables, auditables y comparables con otros inventarios forestales nacionales e internacionales, lo cual es fundamental si se pretende optar por mecanismos de compensación como mercados de carbono, bonos verdes o programas de PSA más estructurados.

Por tanto, se sugiere documentar y sistematizar la metodología aplicada en este estudio como parte de un manual operativo interno que sirva como base para futuras campañas de monitoreo y evaluación.

Propuesta de mejora para un manejo responsable y sostenible de los recursos naturales del RNVSPBV

Costa Rica se destaca por su visión de turismo sostenible y responsable, que se refleja en su compromiso con la sostenibilidad, la regeneración de bosques y el florecimiento de la naturaleza. El 30% del territorio costarricense está bajo la protección de Parques Nacionales o Reservas Forestales y Biológicas (SINAC, 2020). Además, lidera el mundo en la generación de energía sostenible a partir de recursos renovables. El mundo está experimentando un aumento acelerado en la demanda de materias primas finitas, mientras que la escasez de recursos sigue aumentando. Con el aumento de la población mundial, esta demanda aumentará a diario. Muchas naciones dependen de otros países para obtener recursos naturales. Además de su extracción y su impacto en el medio ambiente debido a su alto consumo de energía y emisiones de CO₂, estas sustancias han tenido un impacto en el clima (Gómez, 2023).

En Costa Rica, se establecen políticas generales, específicas y acciones para el manejo de las áreas silvestres protegidas, así como la forma en que la institución interactúa con la sociedad civil y el entorno para mejorar el uso de los recursos humanos, sociales y económicos, sin comprometer la estabilidad de las áreas protegidas y el ambiente en general (SINAC-MINAE, 1997). Las políticas incluyen incentivos, permisos de uso, servicios no esenciales, voluntariado, manejo de recursos, protección y control, planificación, ordenamiento territorial, investigación, turismo, educación ambiental y extensión comunal. Por lo tanto, es necesario establecer procedimientos de planificación interna, como planes de manejo generales, específicos y operativos, mediante mecanismos de cooperación y negociación, con la participación de diversas organizaciones y organizaciones civiles (SINAC-MINAE, 1997).

Los valores focales de manejo son los valores más representativos que el área debe proteger. El análisis de la viabilidad de estos valores, las amenazas que los afectan y las fuentes que los producen nos permite tener una comprensión más completa de estos valores importantes del área (CMP, 2013). Finalmente, el manejo debe incluir planes para aumentar o preservar los valores del área. Se requiere que el análisis se realice continuamente, cada año. Esta condición agrega dinamismo al proceso porque los elementos focales de manejo, el área de planificación o las amenazas cambian con el tiempo (CMP, 2013). Para el caso del Refugio Nacional de Vida Silvestre Privado Buena Vista, se priorizaron cinco elementos focales de manejo que son: fijación de Carbono, recurso hídrico, bosque húmedo tropical, aves y herbívoros.

Visión

Brindar servicios ecosistémicos, mediante la protección del paisaje del bosque, realizar conservación ambiental en alianza con el SINAC y ser un ejemplo de gestión local de los recursos naturales.

Misión

Conservar a perpetuidad los recursos naturales de la reserva, para brindar servicios ecosistémicos (recarga hídrica, biodiversidad, captación y sumideros de carbono y belleza escénica), con participación del SINAC.

Objetivo general

Realizar una propuesta de mejora para promover la conservación y manejo de los recursos naturales del refugio, brindar servicios ecosistémicos a la comunidad por medio de la protección de la RNVSPBV.

Objetivos específicos:

- Realizar un FODA de la situación ambiental, económica y social del RNVSPBV.
- Diseñar un plan de protección del refugio, en función de la conservación y manejo de los servicios ecosistémicos y aportar en las mediciones anuales.
- Proponer una estrategia de manejo sostenible de los recursos de la RNVSPBV, para conservar los recursos naturales y contribuir a su mejoramiento.

Importancia ecológica del RNVSPBV

El Refugio Nacional de Vida Silvestre Privado Buena Vista incorpora 124 ha en el noroeste de Costa Rica. Cubre la zona de vida bosque húmedo tropical y una diversidad de ecosistemas. El refugio tiene una gran variedad de fauna y tiene influencias tanto pacíficas como caribeñas, lo que lo convierte en un lugar ideal para la conservación de procesos biológicos y ecológicos a nivel de recursos. Esta es una condición particularmente importante para los ciclos de vida, rangos y patrones de migración de especies de plantas y animales que deben sobrevivir a los cambios ambientales (WHC, 2013).

El Área de Conservación Guanacaste (ACG) alberga el refugio, donde se han registrado hasta dos tercios de todas las especies presentes en Costa Rica. Más de 7 000 especies de plantas se han registrado en esta región, incluida la caoba en los bosques lluviosos y varias especies de agave y cactus en las zonas más secas (ACG, 2012). Entre los 940 vertebrados registrados, se encuentran el tapir, 40 especies de murciélagos, el jaguar, el caucel, el jaguarundi y el ocelote, así como varias especies de monos. La ubicación del refugio cerca del Parque Nacional Rincón de la Vieja aumentará el área protegida de este ecosistema tan valioso, además de aumentar el corredor biológico (ACG, 2012). El parque nacional se encuentra en una ladera volcánica con nueve cráteres que sirve como divisoria de agua entre el Caribe y el Pacífico en la región noroeste del país. Además, protege cuencas hidrográficas significativas, incluyendo 32 ríos y 16 quebradas intermitentes que proveen de agua a muchas poblaciones entre las provincias de Guanacaste y Alajuela (CNE, 2012).

Entorno socioeconómico del RNVSPBV

El Área de Conservación Guanacaste se encuentra ubicada entre 12 diferentes distritos, cinco del cantón de Liberia, uno del cantón de Bagaces, cuatro del cantón de La Cruz y dos distritos del cantón de Upala, que pertenece a la provincia de Alajuela. También, debido a su posición periférica en comparación con los centros de poder nacionales y en algunos casos alejados de ellos, estos cantones están expuestos a una variedad de factores binacionales, como el intercambio regular e irregular de bienes, servicios y factores sociales como la migración (ACG, 2012).

Se encuentra ubicado en el cantón Liberia en el distrito de Cañas Dulces, que cuenta con una extensión 243.9 kilómetros cuadrados y una población de 3000 personas aproximadamente. Laboran 120 personas, de las cuales, el 90% pertenecen a la provincia de Guanacaste, la mayoría son de localidades cercanas como Buena Vista, Cañas Dulces, Quebrada Grande, Curubande, La Cruz y Liberia, pero también hay personas procedentes de otros cantones de la provincia. La comunidad de Cañas Dulces es un poblado pequeño que cuenta con diversidad de oferta turística, principalmente en las zonas altas por medio de hoteles de montaña y actividades de aventura. Entre los hoteles más conocidos se encuentran Hotel Borinquen, Vandara y Hotel Buena Vista del Rincón.

Al analizar la situación ambiental y económica en las comunidades aledañas al refugio, se debe analizar primeramente el control que se tiene sobre la generación de los desechos sólidos y el control que se realiza en cuanto a los desechos líquidos. Según los datos obtenidos se puede determinar que en promedio existe un servicio de recolección de basura convencional de un 66%, sin embargo, existe un 20.9% que demuestra que los desechos son quemados ocasionando graves problemas de contaminación, además las comunidades se han organizado para mantener programas de separación de desechos sólidos demostrando con un promedio de 32%, que se preocupan por mantener un buen control de estos desechos (INEC, 2015).

El nivel de pobreza basado en el método de necesidades básicas insatisfechas del INEC se podría decir que se encuentra por encima de la media nacional. En cuanto al dato de desempleo para el distrito de Cañas Dulces corresponde a un 3.6%, lo que significa que si el desempleo se puede mejorar esta no es la causa del nivel de pobreza en la zona, lo que se puede regir por la falta de inversión estatal es la oferta de servicios en las comunidades. Ante ello, es indispensable realizar un análisis detallado de necesidades para lograr identificar soluciones a corto y mediano plazo para las comunidades (INEC, 2015).

FACTORES INTERNOS

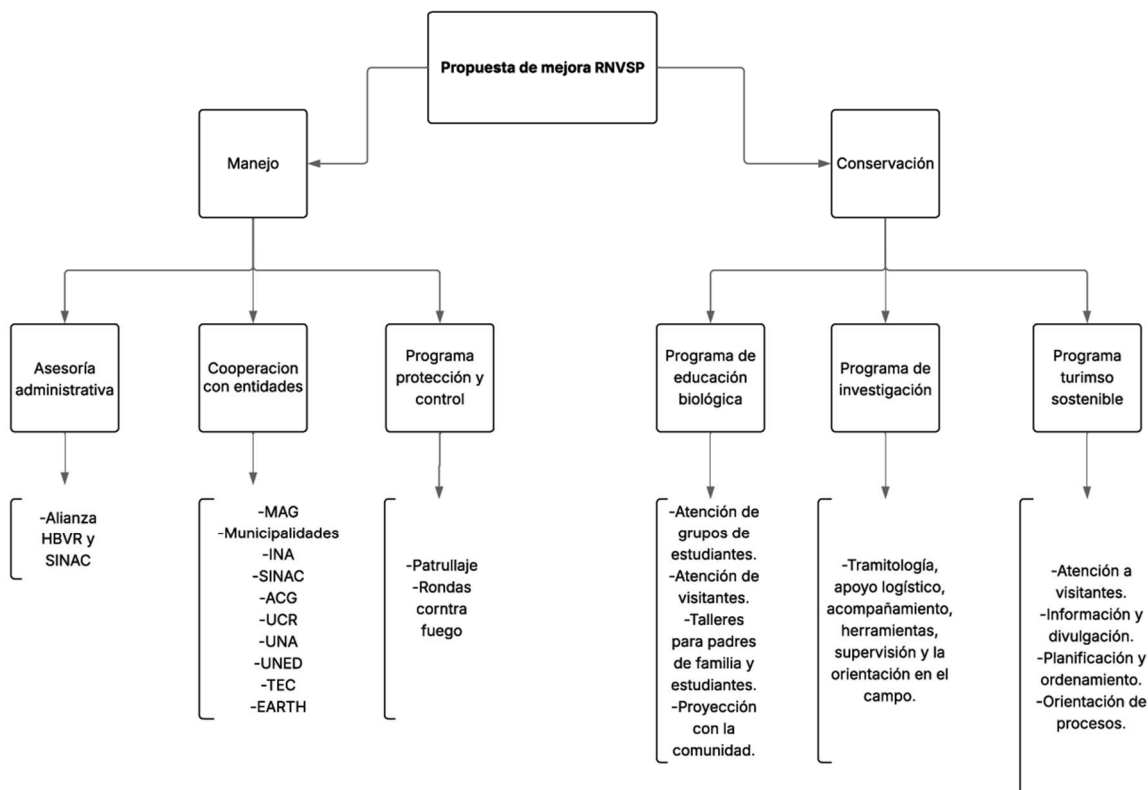
FORTALEZAS	OPORTUNIDADES
• Características del terreno con buenas condiciones biofísicas para brindar servicios ecosistémicos. • Abundante biodiversidad de plantas y animales. • Potencial del terreno, por acceso y características naturales, para desarrollo de actividades relacionadas con ecoturismo turismo. • Importancia para conservación de flora y fauna, así como función de conectividad y corredor biológico. • Constituye un mecanismo de mitigación y compensación de las emisiones atribuibles a la actividad turística. • Facilidad de acceso para las acciones de educación ambiental con las comunidades. • Eje de mitigación en la reducción de emisiones por fuentes, captura y almacenamiento de carbono. • Apoyo del Programa de Turismo Sostenible del ACG, que cuenta con profesionales para su consolidación y profesionalización.	• Protección y regeneración natural de bosques, para emprender iniciativas de mitigación y compensación en programas de C-neutralidad, pago por servicios ambientales. • Socializar la mejora de las inversiones a la reserva a las comunidades y a los visitantes. • Aprovechar la existencia de senderos para promover la reserva como un lugar idóneo para el senderismo, investigación, educación ambiental y observación de flora y fauna. • Fomentar la visitación aprovechando la cercanía con otros parques como el PN Rincón de la Vieja, PN Tenorio, PN Miravalles, PN Santa Rosa. • Poner en valor el hecho de que el ACG cuente con la declaración de Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO. • Disponibilidad e interés del SINAC-ACG para que el sector privado promueva iniciativas de conservación y manejo de áreas protegidas privadas.

	• Ser parte del corredor biológico chorotega e interconectar áreas protegidas. • Potencial de alianzas con organizaciones públicas y privadas, entes académicos, instituciones, la municipalidad, grupos locales y personas físicas.
--	---

FACTORES EXTERNOS

DEBILIDADES	AMENAZAS
• Existe cierta percepción distorsionada de una parte de la comunidad que desconocen las labores de conservación que se están realizando. • La vigilancia de la zona de uso público y privada es muy débil. • No hay servicio de guiado por parte de la comunidad. • No contar con senderos, señalización y rotulación.	• Esta una de las áreas del mundo más expuestas al cambio climático. • No existe un ordenamiento territorial en la región que permita planificar el uso de la tierra a largo plazo. • Cultura local y regional de cacería ilegal, extracción descontrolada de recursos biológicos de los bosques. • Percepción social distorsionada por parte de líderes ambientalistas, a nivel nacional y de la zona. • Construcción del proyecto de explotación Geotérmica Borinquen, por parte del ICE. • La excesiva orientación a la aventura y al reto por encima de los aspectos ecoturísticos.

Diagrama de propuesta de mejora RNVSPBV



Fuente: Elaboración propia, 2025

Gestión administrativa

Se deberá brindar la asesoría básica para un seguimiento administrativo por parte de SINAC y el desempeño en las acciones importantes de protección y manejo, como el desarrollo de líneas corta fuego y la vigilancia contra la cacería ilegal y la extracción de recursos biológicos silvestres, así como el equipamiento básico para dicho programa en función de la protección del refugio.

Gestión de protección y control

Crear medidas que aseguren el cumplimiento efectivo de las normas ambientales de protección y conservación para que el refugio pueda desempeñar su función de brindar servicios ecosistémicos.

Gestión de coordinación institucional

Se deben establecer los métodos más efectivos de cooperación e integración con el ACG del SINAC en temas de conservación y protección, así como con la Municipalidad de Liberia.

Programa de educación biológica y ambiental

Desarrollar y fortalecer la conciencia sobre la naturaleza en los estudiantes y visitantes, para que desarrollen actitudes críticas adecuadas al usar y conservar los recursos naturales. A través de experiencias vivenciales en el área silvestre protegida, los estudiantes, maestros y padres de familia de los centros educativos de las comunidades que participan en el PEB pueden desarrollar una mayor conciencia, con el apoyo de ACG y sus programas de educación biológica y ambiental.

Descripción	Actividades	Objetivo
• Dirigido a estudiantes, padres de familia de escuelas, colegios de las comunidades cercanas. • Visitantes y clientes.	• Atención de grupos de estudiantes. • Atención de visitantes. • Talleres para padres de familia y estudiantes. • Proyección con la comunidad.	• Aumentar el nivel de conocimiento sobre la biodiversidad local y la conservación de recursos.

Programa de investigación

Hacer del refugio un sitio de estudios científicos, donde los procesos científicos y los datos sirvan como base para el manejo y conservación de la biodiversidad que se regenera y conserva en la reserva.

Descripción	Actividades	Objetivo
• Facilitar y promover la investigación científica.	• Tramitología, apoyo logístico, acompañamiento, herramientas, supervisión y la orientación en el campo.	• Garantizar el éxito, la seguridad y la eficiencia de la investigación científica en el campo, mediante la gestión proactiva de la tramitología, la provisión oportuna de apoyo logístico y herramientas, y el acompañamiento experto que facilite y promueva la labor de los investigadores.

Programa de turismo sostenible

El turismo sostenible no solo crea oportunidades para las generaciones futuras, sino que también satisface las necesidades de los turistas y las regiones receptoras. Se considera una forma de administrar los recursos de manera que se puedan satisfacer las necesidades económicas, sociales y al mismo tiempo que se respeta la integridad cultural, los procesos ecológicos, la diversidad biológica y los sistemas que sostienen la vida.

Descripción	Actividades	Objetivo
• Atención a los diversos usuarios que visitan la reserva. • Organización y planificación de los visitantes. • Identificación y caracterización del visitante. • Establecer estándares de calidad para mejorar la oferta de servicios. • Orientación y promoción de conductas dirigidas a lograr un menor impacto.	• Atención de visitantes para velar por que los usuarios reciban la información necesaria. • Información y divulgación para proveer la información escrita o con código QR, señalización e interpretación de los senderos y especies. • Planificación y ordenamiento, se analiza el sitio para determinar el estado de sus atractivos y servicios. Para determinar su potencialidad en una oferta acorde con los propósitos de conservación de la reserva. • Orientación de procesos para mejora de la reserva y su zona de influencia.	• Gestionar y ofrecer la atención directa a los visitantes y usuarios de la reserva, asegurando el suministro de información precisa, oportuna y completa para garantizar el cumplimiento de las normativas y fomentar una experiencia positiva.

Ficha botánica: con datos importantes y elementos focales para que las comunidades, visitantes y personal del hotel se apropien de la propuesta y tenga impacto a mediano y largo plazo.

Ficha Botánica	
Nombre común: Jorco	
Nombre científico: Garcinia intermedia	
Familia: Clusiaceae	
Características: Hojas simples y opuestas de margen entero. Alcanza alturas de hasta 7 metros. Frutos de colores verdes a naranja según el grado de maduración.	
Escala de fijación de carbono: Representa el 39.5 % de fijación en el inventario realizado siendo el más	
Importancia local: Frutos que suplen gran parte de la alimentación de la fauna local y de importancia alta para abejas melíponas y apis melíferas. Su fruto puede ser empleado en cosumo	

Programa de protección y control

Está dirigido a apoyar la administración y protección del refugio, por medio de acciones de protección y control de cacería; incluye acciones de administración, mantenimiento y control.

Descripción	Actividades	Objetivo
Brindar protección a los recursos naturales y mantener los servicios del refugio.	- Realizar las labores de protección, vigilancia, patrullaje y rutinas de mantenimiento. - Elaborar anualmente el plan operativo para el manejo del refugio, acorde con el plan de manejo. - Colocar rótulos contra cacería, extracción de	Proteger y conservar los recursos naturales.

	especies del bosque, saqueo de nidos de pericos y loras. • Realizarse patrullaje con cierta regularidad para disminuir la presión de actos ilegales.	
--	--	--

Patrimonio natural del estado

Según el Reglamento del artículo 18 de la Ley Forestal N°7575 y modificación de los artículos 2 y 11 del Reglamento de la Ley Forestal N°7575, Decreto Ejecutivo N°25721-MINAE, Decreto Ejecutivo N°35868-MINAE, en los terrenos previamente declarados como Patrimonio Natural del Estado, tanto dentro de las Áreas Silvestres Protegidas como fuera de ellas, sólo se permitirá realizar actividades de capacitación, ecoturismo e investigación.

Estas actividades estarán sujetas a lo establecido en el plan de manejo del Área Silvestre Protegida y otras regulaciones establecidas en la presente normativa, de la siguiente manera: se detalla el tipo de actividad permitida y las que se realizarán en el refugio según la categoría.

ECOTURISMO	INVESTIGACION	CAPACITACION
• Senderos o caminos rústicos • Áreas para acampar • Miradores • Canopy • Ascensión a un árbol que sirva de mirador, (plataformas de observación en árboles, siempre que el árbol no sea el nicho de crianza o cueva de alguna especie) • Puentes colgantes • Rapel • Áreas para descanso • Áreas para almuerzo • Ciclismo recreativo • Albergues	• Miradores para observación de especies silvestres o para control y protección (única y exclusivamente con fines científicos) • Senderos (única y exclusivamente con fines científicos) • Instalación de trampas cámara • Recolección de muestras de biodiversidad, de conformidad con lo establecido en la Ley de la Biodiversidad N.º 7788 y su reglamento • Restauración, mejoramiento y/o rehabilitación de humedales y otros ecosistemas • Otras relacionadas y debidamente autorizadas.	• Giras demostrativas. • Aulas ecológicas • Programas de educación ambiental. • Otras relacionadas y debidamente autorizadas

Senderos

Se construirán senderos educativos dentro del refugio para que los visitantes y estudiantes puedan recorrerlos con la finalidad de conocer la biodiversidad del bosque seco. Dentro de los senderos podrán encontrar información sobre el refugio, la flora y la fauna, además de disfrutar de hermosos miradores.

Investigación

El refugio estará a disposición para investigadores nacionales y extranjeros, universidades, entidades públicas como el SINAC, para realizar estudios científicos en la zona. Los estudios serán aprobados por la administración.

Educación

Se podrán realizar convenios con escuelas y colegios de la zona para realizar giras educativas dentro del refugio, aulas ecológicas y programas de educación ambiental.

Seguimiento y evaluación de los programas

La administración del refugio, en coordinación con las autoridades del ACG, establecerán los mecanismos necesarios, con base en el plan de administración y protección, el plan de trabajo y el manual para el monitoreo de ASP. Para darle seguimiento al refugio y cumplimiento de objetivos anualmente. El propósito es evaluar el grado de cumplimiento de las acciones propuestas para mejorar o subsanar errores.

Referencias

- ACG, (2012). ¿Qué es el Área de Conservación Guanacaste? Área de Conservación Guanacaste. <https://www.acguanacaste.ac.cr/acg/que-es-el-acg>.
- ACG, (2012). Programa de educación biológica. <https://www.acguanacaste.ac.cr/educacion/https%3A%2F%2Fwww.acguanacaste.ac.cr%2Feducacion%2Fprograma-de-educacion-biologica>.
- Acosta M., Carrillo A., & Gómez, V. (2011). Estimación de biomasa y carbono en dos especies de bosque mesófilo de montaña. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*.
- Apaza-Holguín, O. F., & Muñoz Caja, G. M. (2022). Almacenamiento de carbono para la conservación de bosque montano: Revisión sistemática. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/99699>.
- Andrade, H., Segura, M., Somarriba, E., & Villalobos, M. (2008). Valoración biofísica y financiera de la fijación de carbono por uso del suelo en fincas cacaoteras indígenas de Talamanca, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*.
- Artavia G. (2016). Guía para el diseño y formulación del Plan General del manejo de las áreas de vida silvestres protegidas de Costa Rica. San José. MINAE, SINAC.
- Berti, G. (2001). Estado actual de los bosques secundarios en Costa Rica: perspectivas para su manejo productivo. *Revista Forestal Centroamericana Volumen 10, número 35 (julio-septiembre 2001)*.
- Bravo, N. (2021). Bosques secundarios: Potencial herramienta para la restauración forestal. Hoy en el TEC; Tecnológico de Costa Rica. <https://doi.org/10.19/bosques-sekundarios-potencial-herramienta-restauracion-foresta>.
- Brown, S., Hall, C. A. S., Knabe, W., Raich, J., Trexler, M. C., & Woomer, P. (1997). Tropical forests: Their past, present, and potential future role in the terrestrial carbon budget. *Water, Air, & Soil Pollution*, 70 (1-4), 71-94. <https://doi.org/10.1007/BF01104989>
- Business, E. G. S. (2019). El mercado de carbono: Una alternativa que apunta a la sostenibilidad. <https://www.esan.edu.pe/apuntes-empresariales/2019/01/el-mercado-de-carbono-una-alternativa-que-apunta-a-la-sostenibilidad/>.
- Camacho-Calvo, M. (2000). Parcelas permanentes de muestreo en bosque natural tropical; guía para el establecimiento y medición. Serie Técnica. Manual Técnico (CATIE).
- Castro, M., Palma, M., Ochoa, V., & Neto, C. (2015). Servicios ecosistémicos: evaluación y valoración económica del secuestro de CO₂ en bosques y áreas protegidas del Área de Conservación Guanacaste-ACG, Costa Rica.
- Cepssa, D. (2015). El Cambio Climático y los Gases de Efecto Invernadero (GEI) en Cepssa. https://www.cepsa.com/stfls/CepssaCom/Coorp_Comp/Medio%20Ambiente_Seguridad_Calidad/Art%C3%ADculos/Dossier-Cambio-Climatico-y-GEI.pdf.
- CNE, (2012). COMISIÓN NACIONAL DE PREVENCIÓN DE RIESGOS Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS COSTA RICA. <http://www.cne.go.cr>.
- Chacón-León, M., & Harvey, C. A. (2013). Reservas de biomasa de árboles dispersos en potreros y mitigación al cambio climático. *Agronomía Mesoamericana*, 24(1), 17–26. http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1659-13212013000100002&lng=enp&nrm=iso&tling=es.
- Operational guidelines for the implementation of the world heritage convention. (2013) UNESCO World Heritage Centre. Intergovernmental Committee for the Protection of the World Cultural and Natural Heritage.
- CIIFEN. (2019). Ciclos Biogeoquímicos. http://www.ciifen.org/index.php%3Foption=com_content&view=article&id=580%253Aciclos-biogeoquimicos&catid=98%253Acontenido-1&Itemid=131&lang=es.

- CMP, (2013). Conservation Measures Partnership. Open standards for the practice of conservation. <https://cmp-openstandards.org/wp-content/uploads/2018/02/CMP-Open-Standards-V3-Spanish.pdf>.
- Das, S., & Singh, T. P. (2012). Correlation analysis between biomass and spectral vegetation indices of forest ecosystem. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*.
- Díaz, I. (2023). Guía completa para calcular la abundancia relativa en ecología. *Ecología Digital*. <https://ecologiadigital.bio/como-se-calcula-la-abundancia-relativa-en-ecologia-y-que-importancia-tiene/>.
- Díaz, V., Sosa-Ramírez, J., & Pérez-Salicrup, D. R. (2012). Distribución y abundancia de las especies arbóreas y arbustivas en la Sierra Fría, Aguascalientes, México. *Polibotánica*. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1405-27682012000200004&lng=es&nrm=iso&tIng=es.
- Díaz-Triana, J. E., Vargas-Ríos, O., & Rodríguez-Eraso, N. (2023). La nucleación: Una alternativa para la restauración ecológica de bosques neotropicales. *Ecología Austral*, 33(3), Article 3. <https://doi.org/10.25260/EA.23.33.3.0.2134>.
- Dirección de Cambio Climático (2019). Plan Nacional de Descarbonización. <https://cambioclimatico.go.cr/plan-nacional-de-descarbonizacion/>.
- Herrera F., B., & Artavia Z., G., (SINAC) (2013). Guía para el diseño y formulación del Plan General de Manejo de las Áreas Silvestres Protegidas de Costa Rica. <http://copa.acguanacaste.ac.cr:8080/handle/11606/705>.
- ESAN, (2019): El mercado de carbono: una alternativa que apunta a la sostenibilidad. <https://www.esan.edu.pe/conexion-esan/el-mercado-de-carbono-una-alternativa-queapuntaalasostenibilidad#:~:text=El%20mercado%20de%20carbono%20surge,p a%C3%ADses%20en%20v%C3%ADas%20de%20desarrollo>.
- Espíndola, C., & Valderrama, J. (2018). Huella de Carbono: Cambio Climático, Gestión Sustentable y Eficiencia Energética. Editorial Universidad de La Serena.
- FAO, (2019). El papel de los bosques en la mitigación del cambio climático y la adaptación. <http://www.fao.org/3/i2000s/i2000s03.pdf>.
- Fonseca, W. 2016. Construcción de Funciones Alométricas para Costa Rica en el contexto del proyecto de Protección Ambiental a través de la protección de los Bosques de centro América.
- Fonseca-González, W., Villalobos-Chacón, R., & Rojas-Vargas, M. (2019). Potencial de mitigación del cambio climático de los ecosistemas forestales caducifolios en Costa Rica: modelos predictivos de biomasa y carbono. *Revista de Ciencias Ambientales*.
- Gálvez-Cusiquispe, P. (2022). Impactos del manejo forestal en la regeneración natural y el contenido de carbono en biomasa aérea Estudio de caso de bosque primario de segunda cosecha y un bosque secundario en Costa Rica. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/2246>.
- González, M. (2008). Estimación de la biomasa aérea y la captura de carbono en regeneración natural de *Pinus maximinoi* H. E. Moore, *Pinus oocarpa* var. *ochoterenai* Mtz. y *Quercus* sp. en el norte del Estado de Chiapas, México. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza-CATIE.
- Gómez, E. (2023). Informe Técnico Refugio Nacional de Vida Silvestre Privado Buena Vista del Rincón, Guanacaste, Costa Rica. Biólogo.
- Granda-Moser, V., Finegan, B., Ramos Bendaña, Z. S., Detlefsen Rivera, G., & Molina, A. (2015). Potencial de manejo de bosques restaurados por sucesión natural secundaria en Guanacaste, Costa Rica: Composición, diversidad y especies maderables. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/7247>.

- Hancock L. 2019. La degradación de los bosques. World Wildlife Fund. <https://www.worldwildlife.org/descubre-wwf/historias/la-degradacion-de-los-bosques-por-que-afecta-a-las-personas-y-la-vida-silvestre>.
- Henao, E., Ordóñez, Y., de Camino, R., Villalobos, R., & Carrera, F. (2015). El Bosque secundario en Centroamérica. Un recurso potencial de uso limitado por procedimientos y normativas inadecuadas.
- Holdridge, L. 1978. Ecología basada en zonas de vida. San José, Costa Rica, IICA.
- Holguín, V. A., Ibrahim, M., & Mora-Delgado, J. (2007). El aprendizaje participativo como base de un cambio positivo del uso del suelo en fincas ganaderas de Costa Rica. Livestock Research for Rural Development.
- Huamán-Huamaní, J. J. (2011). Determinación de reservas de carbono en dos sistemas de cultivo con 44 genotipos de cacao (the obroma cacao L.) en san martín. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Perú.
- IPCC & CMNUCC. (2019). La captación y el almacenamiento de dióxido de carbono: Resumen para responsables de políticas y resumen técnico. IPCC.
- IPCC, (2000). Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura. Resumen para responsables de políticas: informe especial del Grupo de trabajo III del IPCC. OMM (Organización Meteorológica Mundial): PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente).
- IPCC & CMNUCC. (2019). La captación y el almacenamiento de dióxido de carbono: Resumen para responsables de políticas y resumen técnico. IPCC.
- IPCC, (2007). The Physical Science Basis. Working Group I contribution to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IPCC, (2014) Cambio climático: Impactos, adaptación y vulnerabilidad – Resumen para responsables de políticas. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Ginebra, Suiza.
- Jandl, R. (2005). Secuestro de carbono en bosques-El papel del suelo. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/6796>.
- Janzen, D. H. (1982). Management of Habitat Fragments in a Tropical Dry Forest: Growth. Annals of the Missouri Botanical Garden. <https://doi.org/10.2307/2399468>.
- Janzen, D. H. (1981). Enterolobium Cyclocarpum Seed Passage Rate and Survival in Horses, Costa Rican Pleistocene Seed Dispersal Agents. Ecology. <https://doi.org/10.1117/12.678178>.
- Jiménez Zúñiga, E. (2014). Herbivoría en tres estadios de sucesión del bosque seco tropical, en el Parque Nacional Santa Rosa, Guanacaste, Costa Rica.
- Liu, W., Gao, W., Gao, Z., & Wang, X. (2006). Correlation analysis between the biomass of oasis ecosystem and the vegetation index at Fukang. Remote Sensing and Modeling of Ecosystems for Sustainability III, 6298, 1–7. <https://doi.org/10.1117/12.678178>
- Luque, M. (2010). Inundaciones y calentamiento global.
- Manrique, S., & Franco, J. (2012). Bosques nativos: ¿bioenergía o secuestro de carbono? Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente-AVERMA.
- Macías, C. A. S., Escobar, K. M., Sancán, G. S., Chávez, W. A., Chóez, A. M., Cedeño, F. V., Bolcato, D. B., & Iglesias-Abad, S. (2020). Influencia del gradiente altitudinal sobre la estimación del carbono almacenado en biomasa aérea viva y en suelos del Bosque y vegetación protector. <https://doi.org/10.7818/ECOS>.
- Mendiola, A. (2008). Desarrollo del mercado de carbono en el Perú. <http://repositorio.esan.edu.pe/handle/ESAN/617>.
- MINAE, (2018). Plan Nacional de Descarbonización. Dirección de Cambio Climático. <https://cambioclimatico.go.cr/plan-nacional-de-descarbonizacion/>.

- Mirano, L. E. C. (2015). Determinación de la reserva de carbono en un sistema Silvopastoril compuesto por Pino Patula (*Pinus patula*) y herbáceas nativas. file:///C:/Users/Wilson%20Tenempaguay/Downloads/FIZ_004.pdf.
- Mohd, A., & Abd, Z. (2017). Carbon sinks and tropical forest biomass estimation: a review on role of remote sensing in aboveground-biomass modelling. Geocarto International. <https://doi.org/10.1080/10106049.2016.1178814>.
- Morera-Beita, A. A. (2019). Dinámica y estructura en ecosistemas forestales y su aporte al ciclo del carbono en la Península de Osa, Costa Rica. <https://doi.org/10.14201/gredos.140463>.
- Morillo-Medina, P. A. (2022). Evaluación del contenido de carbono y estrategias de manejo en bosques húmedos tropicales: El caso de la Parroquia Fátima, Provincia de Pastaza. [MasterThesis, Quito: Universidad Tecnológica Indoamérica]. <https://repositorio.uti.edu.ec/handle/123456789/2708>.
- Morrison-Vila, L. P. (2020). Caracterización de la biomasa en pie y de la productividad de biomasa en bosques tropicales primarios, de producción y bosques secundarios en Costa Rica. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/9858>.
- Naizot, A.L. (2008). El comercio de carbono o las estrategias fatales de la capitalización de la naturaleza. <http://repositorio.flacsoandes.edu.ec/handle/10469/70>.
- Nogués, F. (2010). Energía de la biomasa. Zaragoza, ES, Universidad de Zaragoza.
- Olivera, A., & Cristobal, S. (2014). Gestión de la huella de carbono en turismo. INNOTEC Gestión, 6 ene-dic, Article 6 ene-dic.
- Ordóñez, J. A. B., & Masera, O. (2016). Captura de carbono ante el cambio climático. Madera y Bosques, 7(1), 3. <https://doi.org/10.21829/myb.2001.711314>.
- Orihuela, W. B. (2019). Valoración económica de la reserva de carbono de Escallonia resinosa. Pers. Universidad Nacional del Centro de Perú.
- Paniagua-Vega, R. (2023). Informe Técnico de cuantificación de carbono almacenado en sumideros de bosque secuendario. Ingeniero forestal.
- Pacheco-Quesada, J. J., & Castillo-Ugalde, M. F. (2021). Estructura horizontal, dinámica y composición de una cronosecuencia de bosque seco tropical secundario de distintas fases sucesionales en la Estación Experimental Forestal Horizontes, Guanacaste, Costa Rica.
- Phillips, J. F., Duque, A. J., Cabrera, K. R., Yepes, A. P., Navarrete, D. A., Cabrera, E., & Vargas, D. M. (2011). Estimación de las reservas potenciales de carbono almacenadas en la biomasa aérea en bosques naturales de Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales-IDEAM.
- Piedra, V. (2017). División Territorial Administrativa de la República de Costa Rica. Primera edición—San José. Costa Rica: Imprenta Nacional.
- Power, G. (2009). El calentamiento global y las emisiones de carbono. Ingeniería Industrial, 0(027), 101. <https://doi.org/10.26439/ing.ind2009.n027.626> bosques secundarios en Costa Rica. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/9858>.
- Powers, J. S., Becknell, J. M., Irving, J., & Pérez-Aviles, D. (2009). Diversity and structure of regenerating tropical dry forests in Costa Rica: Geographic patterns and environmental drivers. Forest Ecology and Management, 258(6), 959–970. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.10.036>.
- Ulate-Quesada, C. A. (2011). Análisis y comparación de la biomasa aérea de la cobertura forestal según zona de vida y tipo de bosque para Costa Rica.
- Quesada-Monge, R., & Quiros-Brenes, K. (2003). Estudio de especies forestales con poblaciones reducidas o en peligro de extinción. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/5791>.

- Ramírez, O. A., Rodríguez, L., Finegan, B., & Gómez, M. (1999). Implicaciones económicas del secuestro del CO₂ en bosques naturales. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/9797>.
- Retana-Chinchilla, L., Méndez-Cartín, A. L., Sánchez-Toruño, H., Montero-Flores, W., Barquero-Elizondo, A. I., & Hernández-Sánchez, L. G. (2019). Estimación de la biomasa y carbono almacenado en un bosque primario intervenido de la zona protectora "El Rodeo", Costa Rica. *Revista Cubana de Ciencias Forestales: CFORES*, 7(3), 5. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8106481>.
- Reynolds, M. P. B. (2013). "Costa Rica, sin ingredientes artificiales": el rol del Estado en la expansión del turismo residencial en las zonas costeras. *Anuario de Estudios Centroamericanos*.
- Rodríguez, R. (2014). Inventario de emisiones-absorciones de gases de efecto invernadero en el sector forestal y uso del suelo (FOLU) del cantón de Belén para el periodo 2006-2013. Trabajo de graduación Bach. Heredia, CR: UNA. Esc. Ciencias Ambientales.
- Rodríguez-Larramendi, L. A., Guevara-Hernández, F., Muro, L. R., Cruz, J. O., Toral, J. N., Lopez, M. P., & Campos Saldaña, R. A. (2016). Estimación de biomasa y carbono almacenado en bosques comunitarios de la región Frailesca de Chiapas, México. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S200711322016000500077.
- Rueda, C. (2014). Estimación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de una plantación de *Inga edulis* en Campo Verde, Ucayali. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNAL_5ee7325f370469c363c635140bf388ff.
- Sánchez, M., (2019). Ciclo de la materia. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RUNC_1261c10f30106ddc9568f998360c8137.
- Seeberg, C. (2010). Las posibilidades de financiación del carbono para la agricultura, la actividad forestal y otros proyectos de uso de la tierra en el contexto del pequeño agricultor. <http://www.fao.org/3/i1632s/i1632s.pdf>.
- Salas, F., Moreno, M.; González, S.; Mora, C. (2010). Análisis de las Contribuciones Socioeconómicas del Parque Nacional Rincón de la Vieja "Conservación con Alma de Volcán" Sitio Patrimonio Natural de la Humanidad UNESCO 2009. UNA, CINPE, SINAC. Heredia, Costa Rica.
- Sharma, V., & Chaudhry, S. (2015). An Evaluation of Existing Methods for Assessment of Above-Ground Biomass in Forests. *International Journal of Engineering Research and Science & Technology*.
- Silleos, N. G., Alexandridis, T. K., Gitas, I. Z., & Perakis, K. (2006). Vegetation indices: Advances made in biomass estimation and vegetation monitoring in the last 30 years. Geocarto International.
- SINAC-MINAE, (1997). Políticas para el Manejo de Áreas Silvestres Protegidas de Costa Rica.
- SINAC, (2020). Sistema Nacional de Áreas de Conservación. CONSULTORIA: Implementación de un plan de capacitación en el uso del sistema de información para planes de manejo forestal y creación de base la base de datos de planes de manejo forestal.
- SINAC, (2023). Parque Nacional Santa Rosa. <https://www.sinac.go.cr/ES/ac/acg/pnsr/Paginas/default.aspx>.
- Tacarpo, M. (2018). Estimación del potencial de captura de carbono de las especies de flora predominante de la parte alta del bosque de la comunidad campesina de Tumpa –

- provincia de Yungay. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/2780>.
- Valderrama, C. F., Castillo, J. A., Torres, J. C., Guzmán, A. R., Forero, V. F., Duque, C. M., Sepúlveda, Y. A., & Montenegro, S. P. (2019). Secuestro y almacenamiento de carbono. En *Servicios ecosistémicos: Un enfoque introductorio con experiencias del occidente colombiano*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD. <https://doi.org/10.22490/9789586516358.06>.
- Vargas-Larreta, B., Amezcua-Rojas, M., López-Martínez, J. O., Cueto-Wong, J. A., Cruz-Cobos, F., Nájera-Luna, J. A., Aguirre-Calderón, C. G., Vargas-Larreta, B., Amezcua Rojas, M., López-Martínez, J. O., Cueto-Wong, J. A., Cruz-Cobos, F., Nájera-Luna, J. A., & Aguirre-Calderón, C. G. (2023). Estimación de los almacenes de carbono orgánico en el suelo en tres tipos de bosque templado en Durango, México. *Botanical Sciences*. <https://doi.org/10.17129/botsci.3094>.
- Vargas-Rayó, O. (2014). ¿Qué clase de sostenibilidad plantean los mecanismos REDD+? <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/21937>.
- Vásquez-Campos, E. J. (2019). Influencia de las variables climatológicas en la estimación de captura de carbono de especies arbóreas en el bosque seco de Jaén, Cajamarca. Universidad Nacional de Cajamarca. <https://doi.org/10/V54-T>.
- Vílchez-Alvarado, B., Chazdon, R. L., & Milla-Quesada, V. (2008). Dinámica de la regeneración en cuatro bosques secundarios tropicales de la región Huertar Norte, Costa Rica: Su valor para la conservación o uso comercial. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/6047>.
- Villanueva, C., Tobar, D., Ibrahim, M., Casasola, F., Barrantes, J., & Arguedas, R. (2006). Árboles dispersos en potreros en fincas ganaderas del Pacífico Central de Costa Rica.
- Zamora-Villalobos N., Jimenez-Madrigal Q., Poveda-Álvarez J. L. (2004). Árboles de Costa Rica. Volumen IV. Editorial Tecnológico de Costa Rica. Cartago.
- Zamora, N., Hammel, B. E., Grayum, M. H., Herrera, C., & Zamora, N. (2010). Manual de plantas de Costa Rica. *Monographs in Systematic Botany from the Missouri Botanical Garden*.

Anexo

Anexo 1: Riqueza y abundancia registrada por familia en el Refugio Nacional de Vida Silvestre Privado Buena Vista.

Familia	Nombre Científico y autor	Nombre Común	No. de individuos
Anacardiaceae	<i>Tapirira mexicana</i> - Marchand	Cirrí	11
Apocynaceae	<i>Stemmadenia robinsonii</i> - Woodson	Guijarro	9
Araliaceae	<i>Dendropanax arboreus</i> - (L.) Decne. & Planch.	Fosforillo, Palomo	7
Bignoniaceae	<i>Tabebuia impetiginosa</i> - (Mart. ex DC.) Standl.	Cortez negro	1
Bombacaceae	<i>Ceiba pentandra</i> - (L.) Gaertn.	Ceiba	1
Boraginaceae	<i>Cordia panamensis</i> L. Riley	Muñeco	8
Burseraceae	<i>Protium costaricense</i> - (Rose) Engl.	Copal, kerosén, alcanfor	2
Clusiaceae	<i>Garcinia intermedia</i> (Pittier) Hammel	Jorco	50
Clusiaceae	<i>Symphonia globulifera</i> - L. f.	Amarillo, Cerillo, Barillo	22
Ebenaceae	<i>Diospyros nicaraguensis</i> (Standl.) Standl.	Chocoyito	1
Euphorbiaceae	<i>Tetrorchidium rotundatum</i> Standl.	Pepe, Amate blanco	13
Fabaceae/Mim	<i>Enterolobium cyclocarpum</i> - (Jacq.) Griseb.	Guanacaste	9
Fabaceae/Mim	<i>Inga punctata</i> Willd.	Cuajiniquil, Guaba	12
Fabaceae/Pap	<i>Lonchocarpus parviflorus</i> Benth.	Chaperno	1
Fabaceae/Pap	<i>Machaerium biovulatum</i> - Micheli	Sangrillo	2
Hippocastanaceae	<i>Billia colombiana</i> - Planch. & Lindl.	Cucaracho	6
Lacistemaceae	<i>Lacistema aggregatum</i> (P.J. Bergius) Rusby	Huesito, cafecillo, garrotillo	1
Lauraceae	<i>Nectandra membranacea</i> - (Sw.) Griseb.	Quizarrá	2
Lauraceae	<i>Nectandra salicina</i> - C. K. Allen	Quizarrá	8
Lauraceae	<i>Ocotea veraguensis</i> - (Meisn.) Mez	Aguacatillo, Canelo	31
Malvaceae	<i>Heliocarpus appendiculatus</i> - Turcz.	Burío	2
Melastomataceae	<i>Mouriri myrtilloides</i> - (Sw.) Poir.	Juan Acuña	6
Meliaceae	<i>Trichilia martiana</i> C.DC.	Manteco	6
Moraceae	<i>Brosimum alicastrum</i> - Sw.	Ojochillo	2
Moraceae	<i>Brosimum alicastrum</i>	Ojochillo	1
Moraceae	<i>Castilla elastica</i> - Sessé	Palo de hule	1
Moraceae	<i>Ficus insipida</i> - Willd.	Chilamate	1
Myrsinaceae	<i>Ardisia revoluta</i> - Kunth	Tucuico	4

Myrtaceae	<i>Eugenia truncata</i> O. Berg	Fruta de pava	1
Rubiaceae	<i>Calycophyllum candidissimum</i> - (Vahl) DC.	Madroño	1
Rubiaceae	<i>Chimarrhis parviflora</i> - Standl.	Yema de huevo	1
Rutaceae	<i>Zanthoxylum panamense</i> - P. Wilson	Lagarto amarillo	1
Rutaceae	<i>Zanthoxylum setulosum</i> P. Wilson	Lagarto	3
Sapindaceae	<i>Cupania guatemalensis</i> - (Turcz.) Radlk.	Manteco	2
Sapotaceae	<i>Manilkara zapota</i> - (L.) Royen	Nispero	3
Sapotaceae	<i>Pouteria campechiana</i> - (Kunth) Baehni	Nisperillo, Zapotillo	5
Sapotaceae	<i>Sideroxylon capiri</i> - Willd.	Tempisque	1
Scrophulariaceae	<i>Buddleja americana</i> L.	Hoja de salve	1
Simaroubaceae	<i>Picramnia antidesma</i> - Sw.	Quina	2
Sterculiaceae	<i>Guazuma ulmifolia</i> - Lam.	Guácimo Ternero	14
Tiliaceae	<i>Luehea candida</i> - (DC.) Mart.	Guácimo molenillo, blanco	5
Tiliaceae	<i>Luehea seemannii</i> - Triana & Planch.	Guácimo colorado, molenillo	4
Tiliaceae	<i>Luehea speciosa</i> - Willd.	Guácimo mollenillo	2
Urticaceae	<i>Cecropia peltata</i> - L.	Guarumo	22
Urticaceae	<i>Urera baccifera</i> - (L.) Gaudich.	Ortiga	2
Abundancia			290
Riqueza			45

Nota: elaboración propia (2025). Identificación con base en “Árboles de Costa Rica” (Zamora et al., 2004) y el Manual de Plantas de Costa Rica (Zamora et al., 2010).

Anexo 2: Especies con mayor y menor stock de biomasa y carbono encontradas en el bosque secundario del Refugio Nacional de Vida Silvestre Privado Buena Vista.

Nombre científico	Área basal (m ²)	Biomasa (t ha ⁻¹)	Carbono (t ha ⁻¹)	CO ₂ (t ha ⁻¹)
<i>Ardisia revoluta</i> - Kunth	0.21	2.04	1,00	3.64
<i>Billia colombiana</i> - Planch. & Lindl.	2.29	26.78	13.12	48.14
<i>Brosimum alicastrum</i> - Sw.	0.12	1.18	0.58	2.12
<i>Brossimum alicastrum</i> - Sw.	0.06	0.58	0.28	1.04
<i>Buddleja americana</i> L.	0.01	0.06	0.04	0.12
<i>Calycophyllum candidissimum</i> - (Vahl) DC.	0.03	0.24	0.12	0.44
<i>Castilla elástica</i> - Sessé	0.05	0.46	0.22	0.82
<i>Cecropia peltata</i> – L.	0.81	7.56	3.68	13.46
<i>Ceiba pentandra</i> - (L.) Gaertn	0.5	5.84	2.86	10.48
<i>Chimarrhis parviflora</i> - Standl	0.1	1.06	0.52	1.88
<i>Cordia panamensis</i> L. Riley	0.46	4.6	2.24	8.22
<i>Cupania guatemalensis</i> - (Turcz.) Radlk.	0.03	0.22	0.1	0.38
<i>Dendropanax arboreus</i> - (L.) Decne. & Planch.	0.41	4.24	2.06	7.58
<i>Diospyros nicaraguensis</i> (Standl.) Standl.	0.01	0.12	0.06	0.2
<i>Enterolobium cyclocarpum</i> - (Jacq.) Griseb.	2.71	30.9	15.14	55.48
<i>Eugenia truncata</i> O. Berg	0.01	0.08	0.04	0.16
<i>Ficus insipida</i> – Willd.	0.71	8.48	4.16	15.24
<i>Garcinia intermedia</i> (Pittier) Hammel	2.01	19.18	9.32	34.2
<i>Guazuma ulmifolia</i> - Lam.	0.79	7.82	3.82	13.98
<i>Heliocarpus appendiculatus</i> - Turcz.	0.1	0.92	0.46	1.66
<i>Inga punctata</i> Willd.	0.37	3.42	1.66	6.1
<i>Lacistema aggregatum</i> (P.J. Bergius) Rusby	0.01	0.08	0.04	0.16
<i>Lonchocarpus parviflorus</i> Benth	0.01	0.06	0.04	0.12
<i>Luehea candida</i> - (DC.) Mart.	0.15	1.4	0.68	2.5
<i>Luehea seemannii</i> - Triana & Planch.	0.45	4.74	2.32	8.48
<i>Luehea speciosa</i> - Willd.	0.08	0.72	0.36	1.28
<i>Machaerium biovulatum</i> - Micheli	0.12	1.18	0.58	2.1
<i>Manilkara zapota</i> - (L.) Royen	1.05	12.5	6.14	22.5

<i>Mouriri myrtilloides</i> - (Sw.) Poir.	0.07	0.64	0.3	1.12
<i>Nectandra membranacea</i> - (Sw.) Griseb.	0.17	1.76	0.86	3.14
<i>Nectandra salicina</i> - C. K. Allen	0.33	3.2	1.56	5.72
<i>Ocotea veraguensis</i> - (Meisn.) Mez	0.59	5.34	2.58	9.5
<i>Picramnia antidesma</i> - Sw.	0.02	0.18	0.08	0.32
<i>Pouteria campechiana</i> - (Kunth) Baehni	0.22	2.14	1.04	3.82
<i>Protium costarricense</i> - (Rose) Engl.	0.05	0.42	0.2	0.74
<i>Sideroxylon capiri</i> - Willd.	0.87	10.54	5.18	18.96
<i>Stemmadenia robinsonii</i> - Woodson	0.16	1.44	0.7	2.56
<i>Symphonia globulifera</i> - L. f.	0.72	6.66	3.24	11.88
<i>Tabebuia impetiginosa</i> - (Mart. ex DC.) Standl.	0.03	0.32	0.16	0.56
<i>Tapirira mexicana</i> – Marchand	0.18	1.6	0.78	2.86
<i>Tetrorchidium rotundatum</i> Standl.	0.36	3.28	1.6	5.84
<i>Trichilia martiana</i> C.DC.	0.34	3.42	1.66	6.12
<i>Urera baccifera</i> - (L.) Gaudich.	0.03	0.22	0.1	0.4
<i>Zanthoxylum panamense</i> - P. Wilson	0.02	0.14	0.06	0.24
<i>Zanthoxylum setulosum</i> P. Wilson	0.1	0.9	0.44	1.58
Total	17.92	188.66	92.18	337.84

Nota: Elaboración propia (2025).

Anexo 3: Familias con mayor y menos stock de biomasa y carbono encontradas en el bosque secundario del Refugio Nacional de Vida Silvestre Privado Buena Vista.

Familia	Área Basal (m²)	Biomasa (t ha⁻¹)	Carbono (t ha⁻¹)	CO₂ (t ha⁻¹)
Fabaceae	3.04	33.98	16.64	60.98
Hippocastanaceae	2.29	26.78	13.12	48.14
Clusiaceae	2.73	25.84	12.56	46.08
Sapotaceae	2.13	25.18	12.34	45.28
Lauraceae	1.17	10.98	5.34	19.56
Moraceae	0.94	10.70	5.24	19.22
Sterculiaceae	0.79	7.82	3.82	13.98
Urticaceae	0.83	7.78	3.78	13.86
Tiliaceae	0.68	6.86	3.34	12.26
Bombacaceae	0.50	5.84	2.86	10.48
Araliaceae	0.41	4.24	2.06	7.58
Boraginaceae	0.39	3.92	1.90	7,0
Meliaceae	0.34	3.42	1.66	6.12
Euphorbiaceae	0.36	3.28	1.60	5.84
Myrsinaceae	0.21	2.04	1.00	3.64
Anacardiaceae	0.18	1.60	0.78	2.86
Fabaceae	0.17	1.58	0.76	2.82
Apocynaceae	0.16	1.44	0.70	2.56
Rubiaceae	0.13	1.30	0.64	2.32
Rutaceae	0.11	1.02	0.50	1.82
Malvaceae	0.10	0.92	0.46	1.66
Melastomataceae	0.07	0.64	0.30	1.12
Burseraceae	0.05	0.42	0.20	0.74
Bignoniaceae	0.03	0.32	0.16	0.56
Sapindaceae	0.03	0.22	0.10	0.38
Simaroubaceae	0.02	0.18	0.08	0.32
Ebenaceae	0.01	0.12	0.06	0.2
Lacistemaceae	0.01	0.08	0.04	0.16
Myrtaceae	0.01	0.08	0.04	0.16
Scrophulariaceae	0.01	0.06	0.04	0.12
Total	17.90	188.64	92.12	337.82

Nota: Elaboración propia (2025).

Anexo 4: Estadística descriptiva e inferencial para el área basal por hectárea.

PPM	Promedios Área Basal (m ² ha ⁻¹)	Parámetro	Símbolo	Valor
1	27.10	Tamaño muestra	n	10.00
2	38.26	Media de la muestra	X	35.85
3	51.76	Desviación estándar	S	9.01
4	26.85	Varianza	s ²	81.17
5	35.69	Coefficiente de variación (%)	CV (%)	25.13
6	27.82	Error típico o estándar	Sx	2.85
7	35.05	Nivel de confianza (%)	1-α	95.00
8	36.99	Grados de libertad	n-1	9.00
9	50.00	Valor de t (student)	t 0.05	2.26
10	28.97	Error de muestreo absoluto	t(Sx)	6.44
Error de muestreo relativo				
-	-	(%)	E%	17.98

Nota: Elaboración propia (2025).

Anexo 5: Imagen trabajo de campo en parcela.



Nota: Elaboración propia (2025).

Anexo 6: Imaginen instrumento GPS.



Nota: Elaboración propia (2025).

Anexo 7: Imagen ejemplo de un rotulo y placa.



Nota: Elaboración propia (2025).

Anexo 8: Ejemplo de especie con diferente forma de fuste.



Nota: Elaboración propia (2025). Especie Guarumo *Cecropia peltata*.

Anexo 7: Cesión de Derechos

Autorización para digitalización y comunicación pública del Trabajo Final de Graduación (TFG) modalidad Proyecto Profesional de la Maestría en Manejo de Recursos Naturales de la Universidad Estatal a Distancia.

Yo, Ma Carolina Ocampo Fernández, con cédula de identidad 109950947, en mi condición de autor del TFG titulado Ma Carolina Ocampo Fernandez. Autorizo a la Universidad Estatal a Distancia para digitalizar y hacer divulgación pública de forma gratuita de dicho TFG a través del repositorio institucional u otro medio electrónico, para ser puesto a disposición del público según lo que establezca la Escuela de Ciencias Exactas y Naturales.

Sí ☒ No* ☐

*En caso de la negativa favor indicar el tiempo de restricción: _____ año (s). Este Trabajo Final de Graduación será publicado en formato PDF, o en el formato que en el momento se establezca, de tal forma que el acceso al mismo sea libre, con el fin de permitir la consulta e impresión, pero no su modificación.

Manifiesto que el contenido de mi Trabajo Final de Graduación corresponde al documento original que sirvió para la obtención de mi título, y que su información no infringe ni violenta ningún derecho a terceros.

El Trabajo Final de Graduación además cuenta con el visto bueno de mi Director y Lectores de TFG y cumplió con lo establecido en la revisión del formato por parte de la Maestría en Manejo de Recursos Naturales.

Información del estudiante:

Nombre completo: Ma Carolina Ocampo Fernández

Número de identificación: 109950947

Correo electrónico: caroca54@hotmail.com

Número de teléfono: 8841-5330

Fecha: marzo 2025

Nombre del director de Tesis: MSc. Oscar Lanuza

Firma del estudiante

Nota: El presente documento constituye una declaración jurada, cuyos alcances aseguran a la Universidad, que su contenido sea tomado como cierto. Su importancia radica en que permite abreviar procedimientos administrativos, y al mismo tiempo genera una responsabilidad legal para que quien declare contrario a la verdad de lo que manifiesta, puede como consecuencia, enfrentar un proceso penal por delito de perjurio, tipificado en el artículo 318 de nuestro Código Penal.