

Valoración de la captación de carbono para la conservación ambiental en la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López” (ESPAM MFL)

Assessment of carbon sequestration for environmental conservation at the Manuel Félix López

Higher Polytechnic School of Agriculture of Manabí (ESPAM MFL)

Avaliação do sequestro de carbono para a conservação ambiental na Escola Superior Politécnica Agrícola Manuel Félix López de Manabí (ESPAM MFL)

Recibido: 06/08/2025 | Revisado: 12/08/2025 | Aceptado: 12/08/2025 | Publicado: 14/08/2025

Lereny Jamilex Castillo Delgado

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-4641-6624>

Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López” – ESPAM MFL, Ecuador

E-mail: lereny.castillo@espm.edu.ec

Leydi Gabriela Íntrago Solórzano

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-7705-2143>

Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López” – ESPAM MFL, Ecuador

E-mail: gabitaledy@gmail.com

Fabricio Enrique Alcívar Íntrago

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9369-7729>

Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López” – ESPAM MFL, Ecuador

E-mail: falcivar@espm.edu.ec

Resumen

En la actualidad, la captura de carbono es una de las alternativas para combatir el incremento de CO₂, gracias a los beneficios ambientales y económicos que brinda. El presente estudio tiene como finalidad valorar la captación de carbono para la conservación ambiental en la ESPAM-MFL en las áreas: agroindustrial, CIIDEA y el bosque politécnico. La investigación fue no experimental con un enfoque descriptivo – cuantitativo, debido a que se midieron y registraron datos dasométricos obtenidos en campo como: altura y el DAP de los individuos. Con base a estos parámetros se aplicaron ecuaciones alométricas para estimar la biomasa forestal, la estimación de carbono y CO₂ almacenado en los árboles. Los resultados indicaron que existen un total de 794 individuos de árboles distribuidos en CIIDEA 392, Bosque Politécnico 323 y el área Agroindustrial 79, siendo la especie más representativa en el campus, la caoba (*Swietenia macrophylla*) con un total de 229 individuos. Se determinó que el carbono almacenado fue de 162,93 t/ha, de esta cifra, el Bosque Politécnico lidera con 138,07 t/ha (84,7%), CIIDEA con 20,91 t/ha (12,8%) y agroindustrial con 3,96 t/ha (2,4%). En cuanto, a la estimación de CO₂ equivalente almacenado fue de 597,95 t/CO₂/año/ha. El Bosque Politécnico aporta 506,71 t/CO₂/año/ha (84,7%), CIIDEA 76,73 t/CO₂/año/ha (12,8%) y el Área Agroindustrial 14,52 t/CO₂/año/ha (2,4%). El Bosque Politécnico fue el mayor aportador en la captura de carbono entre las áreas estudiadas, por tanto, se considera esta área como la de mayor importancia ecológica en cuanto a la captura de carbono.

Palabras clave: Área basal; Biomasa; Estimación de carbono; Individuos.

Abstract

Currently, carbon sequestration is one of the alternatives to combat the increase in CO₂, thanks to the environmental and economic benefits it provides. The purpose of this study is to assess carbon sequestration for environmental conservation at ESPAM-MFL in the agroindustrial, CIIDEA, and polytechnic forest areas. The research was non-experimental with a descriptive-quantitative approach, as dasometric data obtained in the field were measured and recorded, such as the height and DBH of the individuals. Based on these parameters, allometric equations were applied to estimate forest biomass and the carbon and CO₂ stored in the trees. The results indicated a total of 794 tree individuals distributed across 392 CIIDEA trees, 323 Polytechnic Forest trees, and 79 Agroindustrial areas. The most representative species on campus was mahogany (*Swietenia macrophylla*), with a total of 229 individuals. The carbon stored was determined to be 162.93 t/ha, of this figure, the Polytechnic Forest leads with 138.07 t/ha (84.7%), CIIDEA with 20.91 t/ha (12.8%), and Agroindustrial with 3.96 t/ha (2.4%). The estimated CO₂ equivalent stored was 597.95 t/CO₂/year/ha. The Polytechnic Forest contributes 506.71 t/CO₂/year/ha (84.7%), CIIDEA 76.73 t/CO₂/year/ha (12.8%), and the Agroindustrial Area 14.52 t/CO₂/year/ha (2.4%). The Polytechnic Forest was the largest contributor

to carbon sequestration among the areas studied, and is therefore considered the most ecologically important area in terms of carbon sequestration.

Keywords: Basal area; Biomass; Carbon estimate; Individuals.

Resumo

Atualmente, o sequestro de carbono é uma das alternativas para combater o aumento de CO₂, graças aos benefícios ambientais e económicos que proporciona. O objetivo deste estudo é avaliar o sequestro de carbono para a conservação ambiental na ESPAM-MFL nas áreas de florestas agroindustriais, CIIDEA e políticas. A investigação foi não experimental com uma abordagem descritivo-quantitativa, uma vez que foram medidos e registados dados dasométricos obtidos no campo, como a altura e a DAP dos indivíduos. Com base nestes parâmetros, foram aplicadas equações alométricas para estimar a biomassa florestal e o carbono e CO₂ armazenados nas árvores. Os resultados indicaram um total de 794 indivíduos arbóreos distribuídos por 392 árvores CIIDEA, 323 árvores da Floresta Politécnica e 79 áreas agroindustriais. A espécie mais representativa no campus foi o mogno (*Swietenia macrophylla*), com um total de 229 indivíduos. Determinou-se que o carbono armazenado foi de 162,93 t/ha, deste valor, a Floresta Politécnica lidera com 138,07 t/ha (84,7%), CIIDEA com 20,91 t/ha (12,8%) e agroindustrial com 3,96 t/ha (2,4%). Em relação a este, o equivalente de CO₂ estimado armazenado foi de 597,95 t/CO₂/ano/ha. A Floresta Politécnica contribui com 506,71 t/CO₂/ano/ha (84,7%), CIIDEA 76,73 t/CO₂/ano/ha (12,8%) e a Área Agroindustrial 14,52 t/CO₂/ano/ha (2,4%). A Floresta Politécnica foi a maior contribuinte para o sequestro de carbono entre as áreas estudadas e, por isso, é considerada a área ecologicamente mais importante em termos de sequestro de carbono.

Palavras-chave: Área basal; Biomassa; Estimativa de carbono; Indivíduos.

1. Introducción

Las tendencias mundiales en biodiversidad siguen siendo negativas y las emisiones antropogénicas de carbono están cambiando el clima del planeta de formas que amenazan el bienestar humano (Soto et al., 2020). Jiang et al. (2023) sostienen que el calentamiento global ocasionado por gases de efecto invernadero (GEI) se ha convertido en un problema ambiental cada vez más preocupante; debido a que exacerba problemas ecológicos, contribuye al cambio climático y a la pérdida de biodiversidad que albergan los ecosistemas (Dilas & Huamán, 2020; Picetti et al., 2023; Liu et al., 2024).

A nivel mundial, el dióxido de carbono (CO₂) es el gas que ocasiona mayor preocupación, debido a sus altas emisiones y concentraciones al ambiente (Liu et al., 2024; Mite et al., 2021). Según la Organización Meteorológica Mundial [OMM] (2021) en el 2020 se registró una concentración de 413,2 ppm de CO₂ superiores a los registrados en el 2018 (407,8 ppm). Por su parte, en Ecuador las emisiones de CO₂ incrementaron a 80.627,16 Gg, siendo el sector energético el que genera mayor aporte con el 46,63% (Ministerio de Ambiente de Ecuador, 2016). Este incremento se relaciona con la quema de combustibles fósiles que representan el 70% de las emisiones globales (Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático [IPCC], 2021; Ledesma et al., 2021).

A escala provincial, Manabí emite alrededor de 32,25 toneladas de CO₂ por año, derivados de la actividad ganadera, siendo Chone el cantón con más emisiones de CO₂ anualmente con un total de 413.001,45 gramos/año (Briones et al., 2020). Romero (2021) afirma que la ganadería es responsable del 18% de las emisiones de gases de efectos invernaderos, donde el 9% de estas emisiones corresponden al CO₂ procedente de la deforestación.

Frente a este panorama, surgen alternativas para la conservación de los recursos naturales, promoviendo acuerdos y mercados de carbono, donde los países pueden vender o comprar servicios de secuestro de CO₂, con la finalidad de reducir las emisiones de los GEI en varios sectores productivos y convirtiéndose en una fuente de financiamiento para la protección de las áreas verdes que son grandes sumideros de carbono (Muñoz & Vásquez, 2020; Benítez, 2023).

Ganchozo y Solórzano (2022) en su trabajo de titulación manifiestan que en la actualidad el campus politécnico de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí (ESPAM) cuenta con un Área natural protegida y ecomuseo “Manuel Félix López” de la carrera de Ingeniería Ambiental, cuya finalidad se basa en la conservación y uso sostenido de los recursos naturales. En este estudio se determinó que la ESPAM MFL cuenta con una diversidad de árboles, entre ellos, resalta la caoba

con un total de 1.657 individuos, mismos que aportan en la prestación de los servicios ambientales, logrando capturar grandes cantidades de CO₂.

Con la valoración de carbono se desarrollan programas de pago por servicios ambientales, que contribuyen a la conservación de los bosques y al desarrollo sostenible (Mena & Andrade, 2021). Rahman et al. (2021) afirman que la captura de carbono es una de las alternativas para combatir el incremento de CO₂, dado a que los árboles que conforman los bosques actúan como sumideros de los GEI, considerando que la vegetación y el suelo intercambian un aproximado del 80% de carbono en la atmósfera (Jumbo et al., 2018; Hu et al., 2022; Fajardo & León, 2023). Desde esta perspectiva, el estudio se sustenta en el Plan Nacional de Adaptación al cambio climático del Ecuador en el sector del Patrimonio Natural, cuyo objetivo principal trata de “conservar y manejar sustentablemente el patrimonio natural y sus ecosistemas terrestres, para contribuir con su capacidad de respuesta frente a los impactos del cambio climático” (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica [MAATE], 2023).

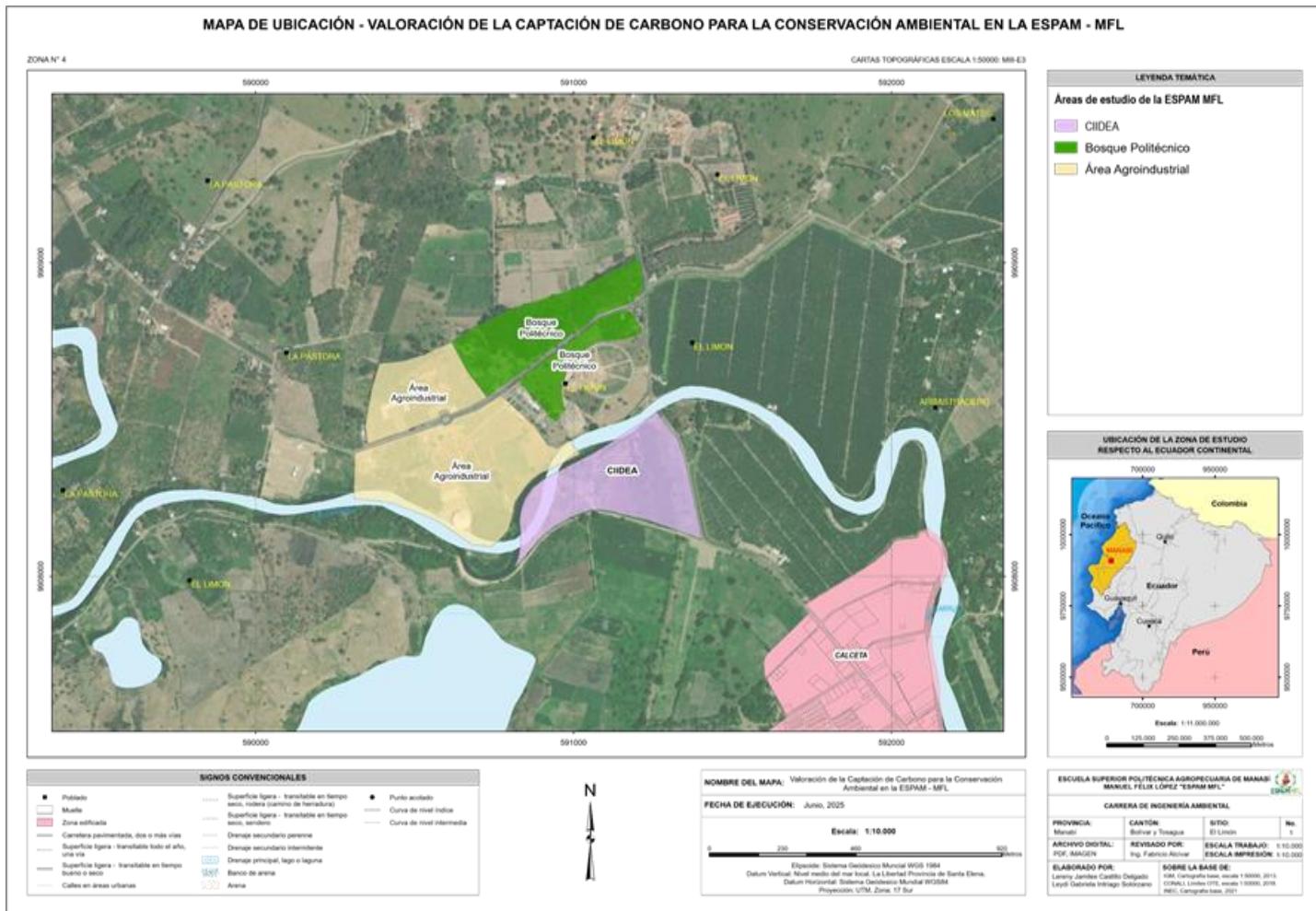
Con base a lo planteado, el presente estudio tiene como finalidad valorar la captación de carbono para la conservación ambiental en la ESPAM-MFL, asignando un valor económico al área, asimismo, la investigación contribuye a la disminución de los GEI desde un enfoque sostenible para la conservación de los recursos naturales.

2. Metodología

Se realizó una investigación de campo, de naturaleza cualitativa y cuantitativa, dado a que se efectuó la recolección de datos numéricos y se exploró información concerniente a la valoración de carbono en la ESPAM MFL (Pereira et al., 2018; Shitsuka et al., 2014).

El estudio se realizó en tres áreas: el área agroindustrial, el Centro de Investigación, Innovación y Desarrollo del Aprendizaje (CIIDEA) y el bosque de la carrera de Ingeniería Ambiental de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López” – ESPAM MFL, ubicado en el sitio El Limón, ciudad de Calceta, cantón Bolívar, provincia de Manabí (Figura 1). Geográficamente la institución se encuentra ubicada entre las coordenadas: 0°49'35,25" S, 80° 11'10,54" O y altitud 15 msnm.

Figura 1 - Ubicación del área de estudio.



Fuente: Datos de investigación (2025).

Levantamiento forestal en la ESPAM MFL

Como parte del levantamiento forestal, se realizó un recorrido de campo por los sectores agroindustrial, bosque politécnico y CIIDEA, dentro de la ESPAM MFL. Durante esta visita se identificaron las zonas con mayor densidad de cobertura arbórea, consideradas con alto potencial para la captura de carbono, considerando las especies mayores de 10 cm de diámetros (Ganchozo & Solórzano, 2022). Se delimitaron las zonas con mayor potencial para la captura de carbono y se georreferenciaron dichas áreas utilizando el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) (Carlín & Macías, 2018). Los mapas fueron procesados en el software ArcMap 10.8 utilizando el sistema de coordenadas UTM con DATUM WGS84, zona geográfica 17S (Álvarez & Conesa, 2018).

Inventario y mediciones forestales

Para realizar el inventario forestal de los árboles identificados, se procedió a medir y registrar variables como: altura y el diámetro a la altura de pecho (DAP) de todos los individuos. Los árboles se midieron a un DAP de 1,30 m desde la posición cuesta arriba con una cinta métrica y la altura con Smart Measure (Aguirre & Erazo, 2017; Quinteros, 2022).

Estimación de los niveles de la captura de carbono

Para la determinación del área basal, volumen, biomasa forestal, carbono y CO₂ almacenado en los árboles, se utilizaron los cálculos empleados en la investigación de Ganchozo y Solórzano (2022):

- Estimación del área basal

$$AB = \frac{\pi}{4} * DAP^2 \text{ [Ec.1]}$$

Donde:

AB = área basal (m²)

$\frac{\pi}{4}$ = constante (0,7854)

DAP = Diámetro altura de pecho (m)

- Estimación del volumen

$$V = AB * H * ff \text{ [Ec. 2]}$$

Donde:

V = Volumen (m³)

AB = Área basal (m²)

H = Altura total del árbol (m)

ff = Factor de forma de fuste (0,50)

- Estimación de la biomasa forestal

$$Bf = Volumen * GE * FEBa \text{ [Ec. 3]}$$

Donde:

Bf = Biomasa forestal (t/ha)

GE = Densidad de madera t/m³ (0,50)

FEBa = Factor de expansión forestal (1,20)

- Estimación del carbono en los árboles

$$C = B * Fc \text{ [Ec. 4]}$$

Donde:

C = Carbono (t/ha)

B = Biomasa (t/ha)

Fc = Fracción de carbono (0,50)

- Estimación del CO₂ almacenado en los árboles

$$CO_2 = C * 3,67 \text{ [Ec. 5]}$$

Donde:

CO₂ = Cantidad de CO₂ capturado (t/CO₂)

C = Carbono (t/ha)

3,67 = Fracción para convertir carbono (t/CO₂)

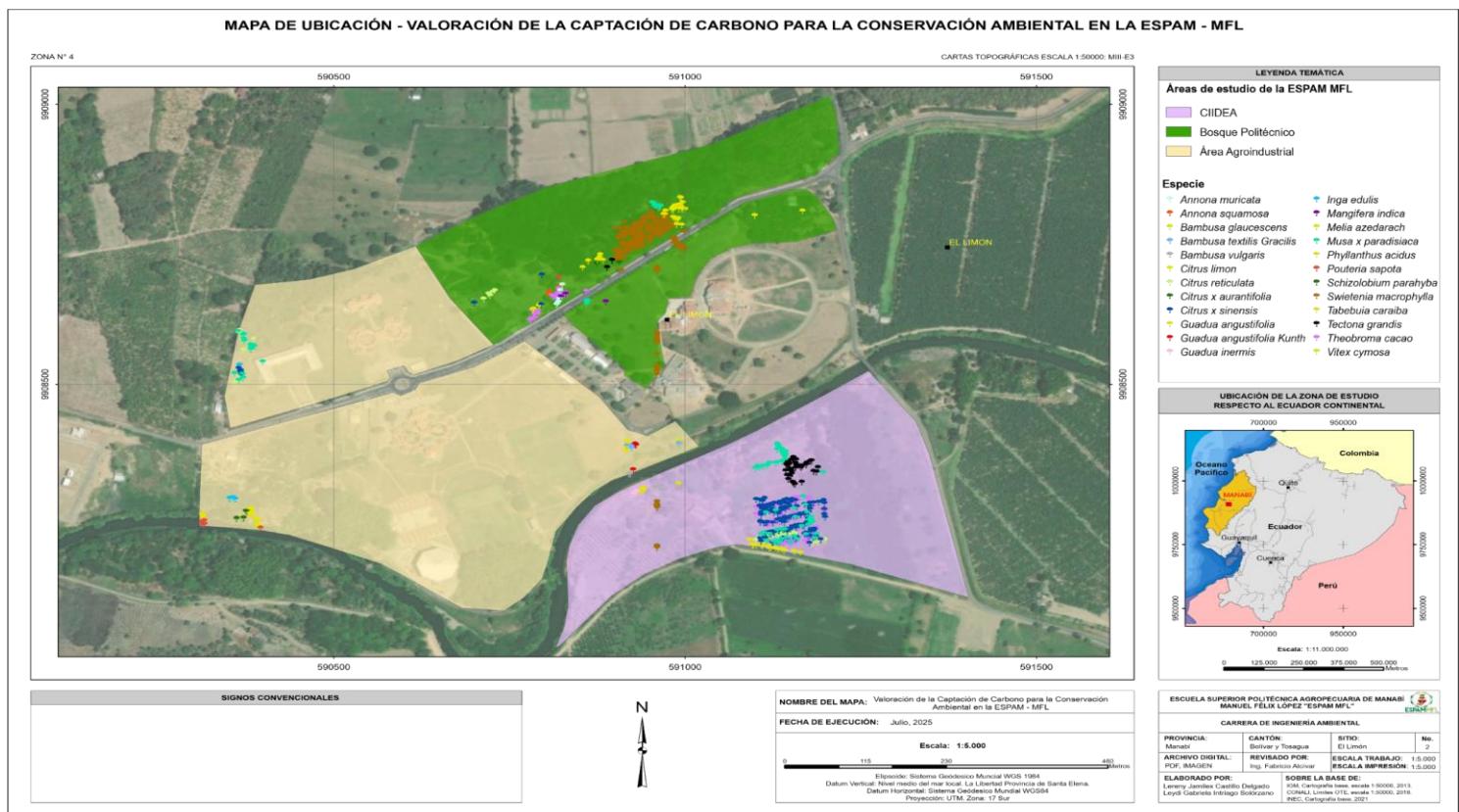
Propuesta de medidas de conservación

Se establecieron medidas para la conservación ambiental de las especies arbóreas existentes en las áreas estudiadas en la ESPAM MFL (Ganchozo & Solórzano, 2022).

3. Resultados y Discusión

En la Figura 2, se presentan los individuos identificados en las áreas de estudio de la ESPAM MFL. En esta área de estudio predomina un suelo franco de textura media y con un alto contenido de materia orgánica (Montesdeoca, 2016).

Figura 2 - Mapa de la diversidad de especies en las áreas de estudio.



Fuente: Datos de investigación (2025).

En la Tabla 1, se presentan los resultados del levantamiento de individuos arbóreos identificados en las diferentes áreas del campus de la ESPAM MFL. En total, se registraron 794 individuos distribuidos en los sectores Agroindustrial, Bosque Politécnica y CIIDEA. La información fue organizada en una matriz que permite estructuras adecuadamente los datos correspondientes a cada área de estudio, incluyendo el nombre común, nombre científico y el número de individuos por especies.

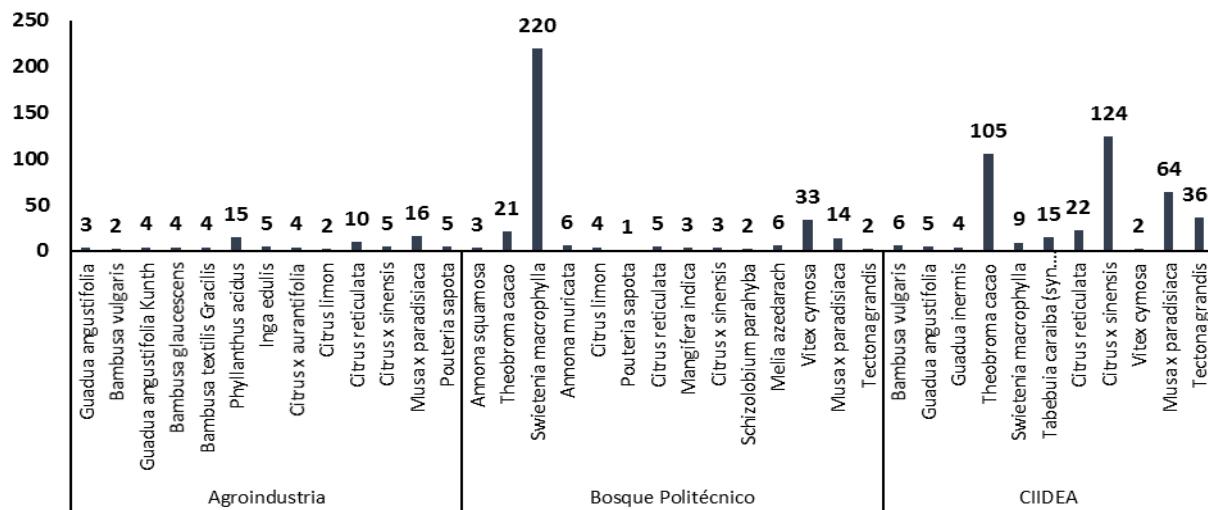
Tabla 1 - Matriz del levantamiento forestal de individuos de todas las especies registradas en campo.

Área	Nombre Común	Especie	Individuos
Agroindustrial	Bambú amarillo	<i>Guadua angustifolia</i>	3
	Bambú cabeza de dragón	<i>Bambusa vulgaris</i>	2
	Bambú guadua rayada	<i>Guadua angustifolia Kunth</i>	4
	Bambú malayo enano	<i>Bambusa glaucescens</i>	4
	Bambú tejedor	<i>Bambusa textilis Gracilis</i>	4
	Grosella	<i>Phyllanthus acidus</i>	15
	Guaba - Guama	<i>Inga edulis</i>	5
	Lima	<i>Citrus x aurantifolia</i>	4
	Limón	<i>Citrus limon</i>	2
	Mandarina	<i>Citrus reticulata</i>	10
	Naranja	<i>Citrus x sinensis</i>	5
	Plátano	<i>Musa x paradisiaca</i>	16
	Zapote	<i>Pouteria sapota</i>	5
<i>Subtotal</i>			79
Bosque Politécnico	Anona o chirimoya	<i>Annona squamosa</i>	3
	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	21
	Caoba	<i>Swietenia macrophylla</i>	220
	Guanábana	<i>Annona muricata</i>	6
	Limón	<i>Citrus limon</i>	4
	Mamey colorado	<i>Pouteria sapota</i>	1
	Mandarina	<i>Citrus reticulata</i>	5
	Mango	<i>Mangifera indica</i>	3
	Naranja	<i>Citrus x sinensis</i>	3
	Pachaco	<i>Schizolobium parahyba</i>	2
	Paraíso Sombrilla o Árbol del paraíso	<i>Melia azedarach</i>	6
	Pechiche	<i>Vitex cymosa</i>	33
	Plátano	<i>Musa x paradisiaca</i>	14
	Teca	<i>Tectona grandis</i>	2
<i>Subtotal</i>			323
CIIDEA	Bambú	<i>Bambusa vulgaris</i>	6
	Bambú guadúa hueso	<i>Guadua angustifolia</i>	5
	Bambú guadua inermis	<i>Guadua inermis</i>	4
	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	105
	Caoba	<i>Swietenia macrophylla</i>	9
	Guayacán Ornamental	<i>Tabebuia caraiba (syn. Tabebuia aurea)</i>	15
	Mandarina	<i>Citrus reticulata</i>	22
	Naranja	<i>Citrus x sinensis</i>	124
	Pechiche	<i>Vitex cymosa</i>	2
	Plátano	<i>Musa x paradisiaca</i>	64
	Teca	<i>Tectona grandis</i>	36
<i>Subtotal</i>			392
Total, general			794

Fuente: Datos de investigación (2025).

En la Figura 3, se muestra el levantamiento forestal realizado en el campus de la ESPAM MFL permitió registrar un total de 794 individuos arbóreos distribuidos en tres áreas: CIIDEA, Bosque Politécnico y área Agroindustrial. De este total, CIIDEA concentró la mayor cantidad de individuos con 392 (49,4%), seguido del Bosque Politécnico con 323 (40,7%) y, finalmente el área Agroindustrial con 79 individuos (9,9%). Esta distribución sugiere una mayor densidad forestal en CIIDEA, posiblemente debido a su función como espacio experimental y de desarrollo agropecuario.

Figura 3 - Diversidad de las especies registrados en campo.



Fuente: Datos de investigación (2025).

En cuanto a la diversidad de especies, el Bosque Politécnico presentó la mayor variedad, con 14 especies identificadas, seguido del área Agroindustrial con 13 y CIIDEA con 11 especies. En el área Agroindustrial predominaron especies frutales y de bambú, como el plátano (*Musa x paradisiaca*, 16 individuos), la grosella (*Phyllanthus acidus*, 15 individuos) y diversas variedades de bambú. En el Bosque Politécnico se registró una mezcla de especies frutales, maderables y ornamentales, destacando la caoba (*Swietenia macrophylla*, 220 individuo) y el pechiche (*Vitex cymosa*, 33 individuos). En CIIDEA se observó una alta representación de especies frutales y maderables, siendo la naranja (*Citrus x sinensis*) la especie más abundante con 124 individuos, seguida por el cacao (*Theobroma cacao*, 105 individuos) y el plátano (*Musa x paradisiaca*, 64 individuos).

En términos de especies más representativas, la caoba es una de las especies dominantes en el conjunto del campus, con un total de 229 individuos, de los cuales 220 se encuentran en el Bosque Politécnico, lo que indica un enfoque forestal o de conservación en esa zona. El cacao también presenta una alta representatividad, con 126 individuos, siendo CIIDEA el área con mayor concentración (105). La naranja, con 132 individuos, destaca por su notable presencia en CIIDEA, mientras que el plátano se encuentra ampliamente distribuido en las tres áreas, sumando 94 individuos, lo que refuerza su papel como cultivo de interés alimentario y económico.

La presencia de especies maderables como caoba, teca y pechiche es relevante en el Bosque Politécnico y en CIIDEA, lo que evidencia la existencia de un manejo con fines de conservación y/o aprovechamiento sostenible de especies forestales de valor comercial y ecológico. Es importante resaltar también la incorporación de bambúes en el Área Agroindustrial y en CIIDEA, lo que podría responder a su uso en prácticas sostenibles, infraestructura verde o generación de biomasa.

Estimación de los niveles de captación de carbono en la ESPAM MFL

Para la determinación del contenido de carbono, se utilizaron los datos dasométricos obtenidos en campo, específicamente el diámetro a la altura del pecho (DAP) y la altura de cada individuo, los cuales se muestran en la Tabla 2. Con base a estos parámetros y aplicando las ecuaciones alométricas se procedió a estimar la biomasa aérea y, posteriormente el contenido de carbono de cada árbol.

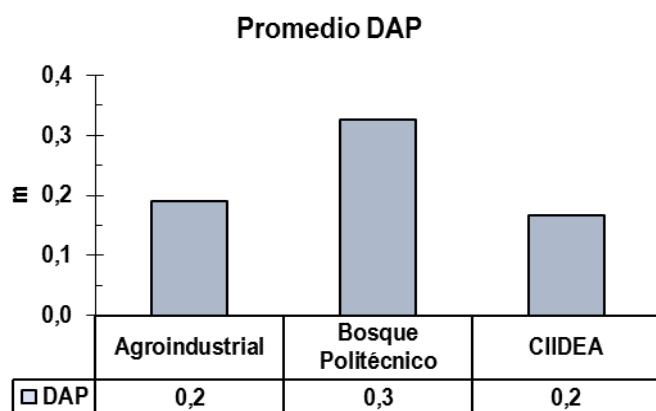
Tabla 2 - Estimación de los niveles de captación de carbono.

Área	Promedio de DAP	Promedio de Altura
Agroindustrial	0,2 m	9,5 m
Bosque Politécnico	0,3 m	19,6 m
CIIDEA	0,2 m	6,5 m

Fuente: Datos de investigación (2025).

La Figura 4 indica que el Diámetro a la Altura del Pecho (DAP) promedio más alto se registra en el Bosque Politécnico, con 0,3 metros, lo que indica la presencia de árboles con mayor desarrollo en grosor. Tanto el área Agroindustrial como CIIDEA presentan un DAP promedio de 0,2 metros, lo cual es característico de vegetación más joven, en proceso de crecimiento, o de especies de menor talla, posiblemente relacionadas con usos agroforestales o áreas en recuperación.

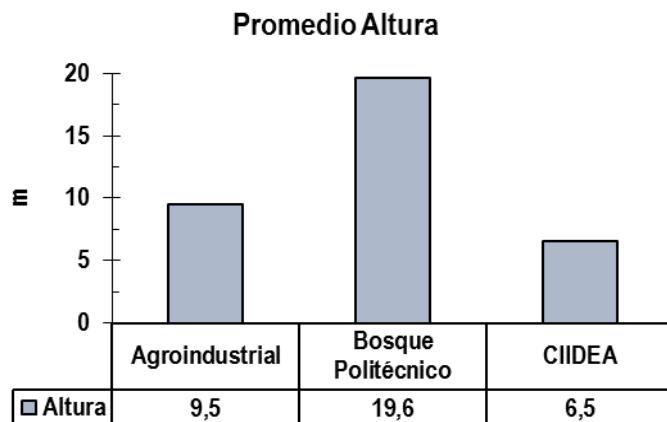
Figura 4 - DAP promedio registrado en campo por áreas.



Fuente: Datos de investigación (2025).

En la Figura 5 se muestra la altura promedio, el Bosque Politécnico muestra el valor más alto con 19,6 metros, evidenciando árboles con mayor desarrollo vertical y posiblemente un ecosistema más maduro y estructurado. El área Agroindustrial alcanza una altura promedio de 9,5 metros, correspondiente a vegetación de porte medio, relacionada con cultivos arbóreos o árboles remanentes. Por último, CIIDEA presenta la menor altura promedio con 6,5 metros, lo que sugiere una cobertura vegetal menos desarrollada, ya sea por la edad de la vegetación, especies de bajo porte o prácticas de manejo que limitan el crecimiento.

Figura 5 - Altura promedio registrado en campo por áreas.



Fuente: Datos de investigación (2025).

En la Tabla 3, se presentan los resultados obtenidos por cada una de las áreas evaluadas:

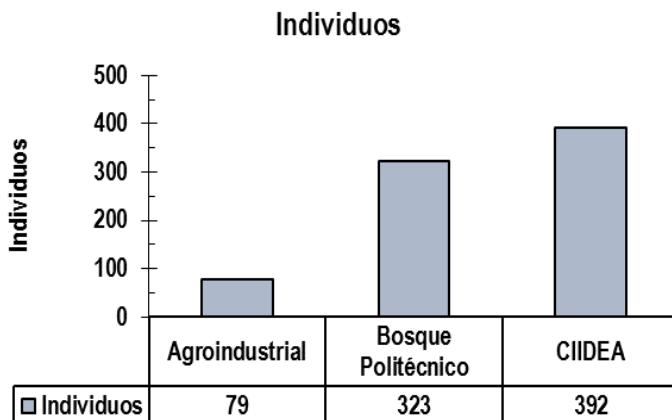
Tabla 3 - Estimación de los niveles de captación de carbono.

Área	Suma de Individuos	Suma de Área Basal AB	Suma de Volumen	Suma de Biomasa Forestal BF	Suma de la Estimación Carbono	Suma de la Estimación de CO2 almacenado
Agroindustrial	79	2,73 m ²	13,19 m ³	7,91 t/ha	3,96 t/ha	14,52 t/CO ₂ .anual/ha
Bosque Politécnico	323	36,03 m ²	460,22 m ³	276,13 t/ha	138,07 t/ha	506,71 t/CO ₂ .anual/ha
CIIDEA	392	11,36 m ²	69,69 m ³	41,81 t/ha	20,91 t/ha	76,73 t/CO ₂ .anual/ha
Total	794	50,11 m²	543,10 m³	325,86 t/ha	162,93 t/ha	597,95 t/CO₂.anual/ha

Fuente: Datos de investigación (2025).

De acuerdo con la Figura 6, se contabilizó un total de 794 individuos arbóreos en las tres áreas evaluadas. La mayor cantidad se registró en CIIDEA con 392 árboles (49,4%), seguido del Bosque Politécnico con 323 (40,7%) y el Área Agroindustrial con 79 (9,9%).

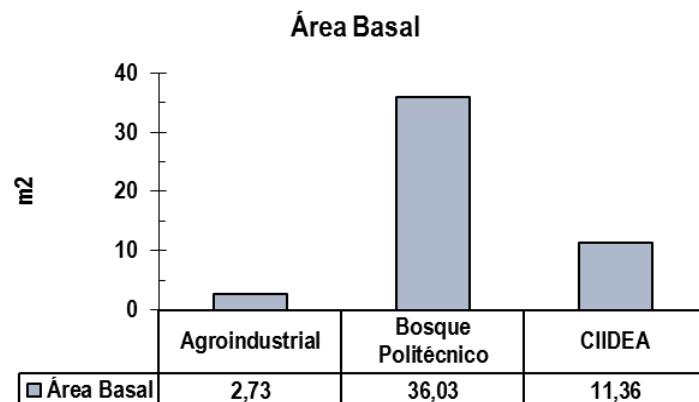
Figura 6 - Número de individuos registradas en campo por áreas.



Fuente: Datos de investigación (2025).

La Figura 7 exhibe los resultados de la suma total del área basal, la cual fue de 50,11 m². El Bosque Politécnico aportó con 36,03 m² (71,9%), mientras que CIIDEA alcanzó 11,36 m² (22,7%) y el Área Agroindustrial solo 2,73 m² (5,4%). Esto sugiere que los árboles del Bosque Politécnico tienen troncos más gruesos o mejor desarrollo estructural, posiblemente por su edad, densidad o especies presentes.

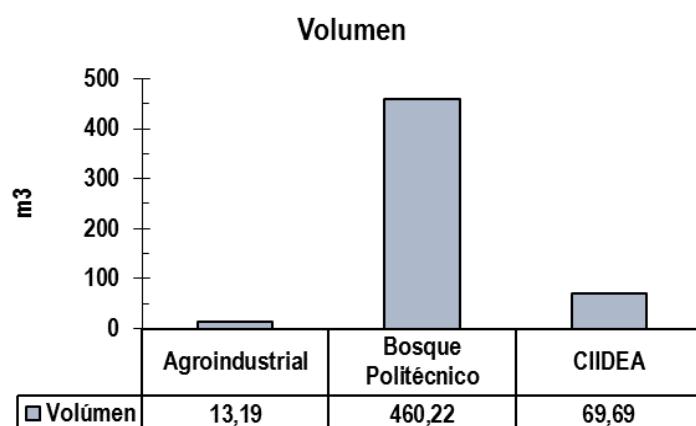
Figura 7 - Área basal registrada en campo por áreas.



Fuente: Datos de investigación (2025).

La Figura 8 muestra que el volumen total estimado fue de 543,10 m³. El Bosque Politécnico representa la mayor proporción con 460,22 m³ (84,7%), seguido de CIIDEA con 69,69 m³ (12,8%) y Agroindustrial con el 13,19 m³ (2,4%). Estos valores muestran que el Bosque Politécnico tiene árboles de gran porte y especies maderables con alto rendimiento volumétrico.

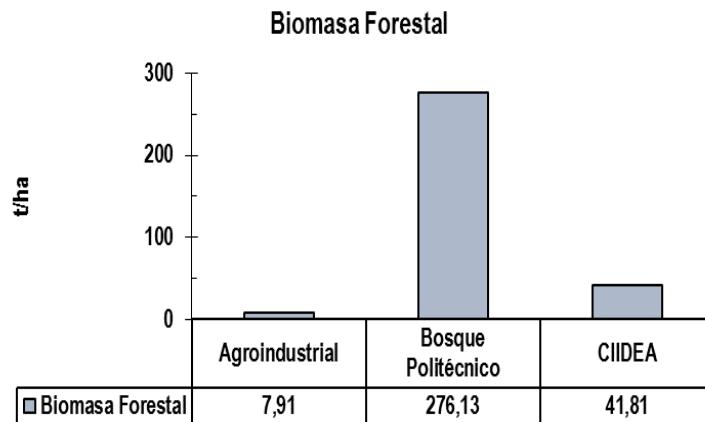
Figura 8 - Volumen registrado en campo por áreas.



Fuente: Datos de investigación (2025).

La biomasa forestal se muestra en la Figura 9, se estimó un total de 325,86 toneladas por hectárea (t/ha). El Bosque Politécnico concentra el 84,7% con 276,13 t/ha, CIIDEA representa el 12,8% con 41,81 t/ha, y el Área Agroindustrial apenas el 2,4% con 7,91 t/ha. Esto está directamente relacionado con el volumen y la estructura de los individuos en cada área.

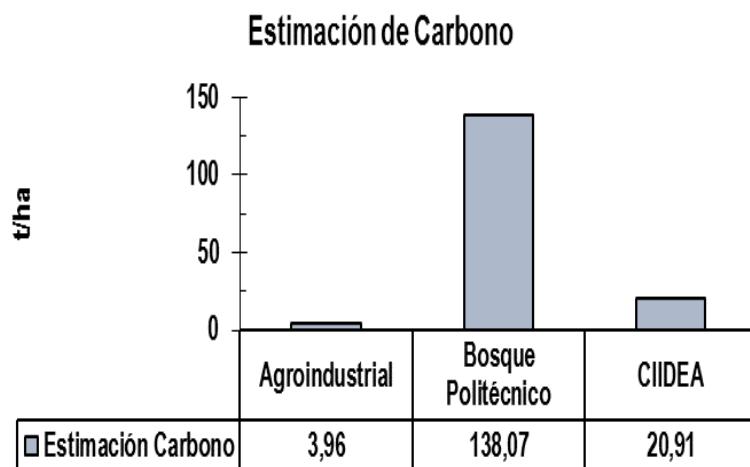
Figura 9 - Biomasa forestal registrada en campo por áreas.



Fuente: Datos de investigación (2025).

Según la Figura 10, la estimación total de carbono almacenado fue de 162,93 t/ha. De esta cifra, el Bosque Politécnico lidera con 138,07 t/ha (84,7%), seguido de CIIDEA con 20,91 t/ha (12,8%) y Agroindustrial con 3,96 t/ha (2,4%). Este patrón sigue la tendencia observada en la biomasa, dado que aproximadamente el 50% de la biomasa seca equivale a carbono.

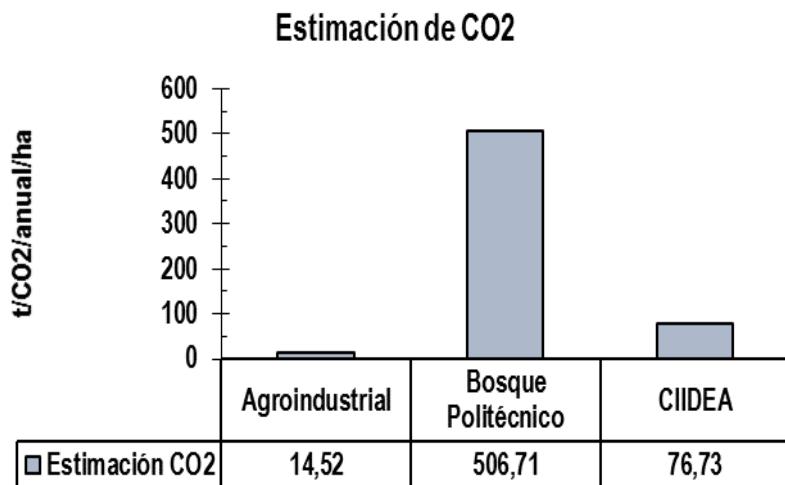
Figura 10 - Estimación de carbono registrada en campo por áreas.



Fuente: Datos de investigación (2025).

De acuerdo con la Figura 11, la estimación de dióxido de carbono (CO_2) equivalente almacenado fue de 597,95 $\text{t}/\text{CO}_2/\text{año}/\text{ha}$. El Bosque Politécnico aporta 506,71 $\text{t}/\text{CO}_2/\text{año}/\text{ha}$ (84,7%), CIIDEA 76,73 $\text{t}/\text{CO}_2/\text{año}/\text{ha}$ (12,8%) y el Área Agroindustrial 14,52 $\text{t}/\text{CO}_2/\text{año}/\text{ha}$ (2,4%). Esto posiciona al Bosque Politécnico como el área de mayor importancia ecológica en términos de captura de carbono, debido a su estructura forestal robusta y la presencia de especies maderables de alto rendimiento.

Figura 11 - Estimación de CO2 almacenado registrada en campo por áreas.



Fuente: Datos de investigación (2025).

Propuesta de medidas de conservación

La captación de carbono es fundamental para la conservación ambiental y la mitigación del cambio climático, por esta razón, se presentan algunas medidas que pueden ser claves para su conservación, las cuales se exponen en la Tabla 4.

Tabla 4 - Medidas de conservación ambiental.

Medidas de conservación ambiental					
Objetivo:	Fomentar la implementación de conservación ambiental en cuanto a la captura de carbono en el campus politécnico.				
Lugar de aplicación:	Campus politécnico				
Responsable:	Autoridades de la ESPAM MFL				
Criterios	Medidas propuestas	Indicador	Medio de verificación	Plazo	Costo
Reforestación y forestación	Identificar áreas prioritarias para la reforestación considerando especies nativa de la zona	Número de árboles plantadas por especies	• Informes de reforestación • Registros fotográficos	1 año	2,000\$
	Establecimiento de viveros	Tasa de supervivencia de plantas	• Registro de viveros • Registros fotográficos	1 año	1,000\$
	Promover la educación ambiental en cuanto a la reforestación de especies nativas en la zona	Número de charlas realizadas	• Registros de charlas	1 año	500 \$
Manejo forestal sostenible	Implementar prácticas de manejo forestal sostenible	Hectáreas de manejo forestal sostenible	• Inventarios forestales	1 año	200\$
	Fomentar el uso de sistemas agroforestales que mejoren la productividad y la captura de carbono	Números de charlas realizadas	• Registros de charlas	1 año	200 \$
	Manejo integrado de plagas y enfermedades	Números de eventos	• Registros de eventos	1 año	200\$

Conservación de la contribución de la captura de carbono	Establecer un sistema de monitoreo y seguimiento de la captación de carbono	Estimación de carbono secuestrado (IPCC)	• Informes de monitoreos	5 años	2,000\$
	Establecer un programa de educación ambiental dirigido a la comunidad de la ESPAM MFL sobre la captación de carbono	Números de programas realizados	• Informes de programas	1 año	500\$
	Capacitar a las comunidades locales en prácticas sostenibles	Número de capacitaciones	• Informe y registro de capacitaciones	1 año	500\$

Fuente: Datos de investigación (2025).

Discusión

Los resultados obtenidos en esta investigación muestran que existen diferencias en el promedio de DAP y el promedio de altura de los individuos identificados, siendo el bosque politécnico el que muestra el valor más alto tanto para el DAP (0,3 m) y la altura (19,6 m). Ganchozo y Solórzano (2021) en su estudio exponen que el bosque politécnico presenta mayores alturas entre sus especies, debido a que poseen individuos de caobas con una altura mayor a 20 m. Peña (2021) afirman que a mayor diámetro de las especies arbóreas se captura más carbono.

Según los cálculos de la estimación de los niveles de captación de carbono, en las áreas estudiadas se identificaron un total 794 individuos, cuya área basal fue de 50,11 m² con un volumen de 543,10 m³ y la biomasa forestal 325,86 t/ha. Por su parte, la investigación determinó que la estimación total de carbono almacenado en las áreas de estudio fue de 162,93 t/ha y el dióxido de carbono (CO₂) equivalente almacenado fue de 597,95 t/CO₂/año/ha; el bosque politécnico aportó la mayor parte. En la investigación de Ayala (2017) en un bosque representativo de la ecorregión Alto Paraná se analizaron 470 individuos obteniendo un total de 242,01 t/ha de biomasa aérea y en cuanto al carbono acumulado, se obtuvo 120,941 t/ha. Estos datos difieren de los obtenidos en esta investigación, debido a que dentro de la ESPAM MFL se almacena más t/ha de carbono.

Medina et al. (2020) afirman que los bosques son trascendentales en la captación de carbono, debido a que los árboles logran almacenar más carbono por unidad de área, especialmente, en forma de madera, en comparación con otros tipos de vegetación. Los árboles pueden almacenar hasta 1335,1 mg/ha de CO₂ en bosques húmedos tropicales (Martel & Cairampoma, 2012).

4. Conclusión

Los cálculos de la captura de carbono en las áreas de la ESPAM MFL estimaron un total de carbono almacenado de 162,93 t/ha y el dióxido de carbono (CO₂) equivalente almacenado fue de 597,95 t/CO₂/año/ha. El bosque politécnico fue el mayor aportador en la captura de carbono, debido a la variedad de especies que posee, especialmente especies maderables como caoba, teca y pechiche que son grandes almacenadores de carbono; por lo que se considera esta área como la de mayor importancia ecológica en cuanto a la captura de carbono.

Referencias

Aguirre, N. & Erazo, A. (2017). Valoración económica ambiental del compartimiento leñosa como una alternativa para conservar la biodiversidad del bosque seco de la provincia de Loja, Ecuador. *Bosques Latitud Cero*, 7(1), 89-107. <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/188/182>

Alvarez, Y. & Conesa, C. (2018). Georreferenciación de documentos cartográficos históricos para el análisis del trazado fluvial del Bajo Segura, Vega Media (Murcia, España). *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 21, 101-118.

Ayala, L. (2017). *Valoración económica del servicio ambiental de almacenamiento de carbono en un bosque representativo de la ecorregión Alto Paraná*. Universidad Nacional de Asunción.

Briones, M., Mogro, M., García, L. & Reyes, P. (2020). *Cambio climático, deforestación e impacto antrópico en el humedal "La Segua", Manabí*. ULEAM: <https://departamentos.uleam.edu.ec/observatorio-territorial/files/2020/11/BOLETIN-CAMBIO-CLIM%C3%81TICO-LA-SEGUA-.pdf>

Carlín, D. & Macías, D. (2018). *Valoración de la captación de carbono para la conservación ambiental en el sector La Pita de la parroquia Quiroga*. Repositorio ESPAM MFL: <https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/739/1/TMA163.pdf>

Dilas, J. & Huamán, A. (2020). Captura de carbono por un bosque montano de neblina del Perú. *Revista de Investigación Científica y Tecnológica Alpha Centauri*, 1(3), 13-25. doi:<https://doi.org/10.47422/ac.v1i3.16>

Fajardo, V. & León, K. (2023). *Valoración económica de la captura de carbono de las especies Podocarpus sprucei, Oreocallis grandiflora, Alnus glutinosa y Oreopanax ecuadorensis en el Acmus San Bartolomé - SIGSIG - Ecuador*. Universidad Politécnica Salesiana: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/24360/1/UPS-CT010353.pdf>

Ganchozo, G. & Solórzano, A. (2022). *Captura de carbono como criterio para la conservación de la caoba (Swietenia macrophylla King) en el campus politécnico de la ESPAM MFL*. ESPAM MFL: https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/1944/1/TIC_IA34D.pdf

García, A. (2023). El método bibliográfico. Las técnicas bibliográficas y su evolución histórica. *Revista Internacional de Ciencias Humanas y Crítica de Libros*. <https://revistarecension.com/2023/08/02/el-metodo-bibliografico-1-las-tecnicas-bibliograficas-y-su-evolucion-historica/>

Hu, Y., Xu, B., Wang, Y., He, Z., Zhang, P. & Wang, G. (2022). Reference for different sensitivities of greenhouse gases effluxes to warming climate among types of desert biological soil crust. *Science of The Total Environment*, 830. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154805>

Jiang, B., Lu, M., Yong, Z., Lun, B. & Liang, H. (2023). Quantifying biochar-induced greenhouse gases emission reduction effects in constructed wetlands and its heterogeneity: A multi-level meta-analysis. *Science of The Total Environment*, 855. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158688>

Jumbo, C., Arévalo, C. & Ramírez, L. (2018). Medición de carbono del estrato arbóreo del bosque natural Tinajillas - Limón Indanza, Ecuador. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*, 27(1), 51-63. doi:<https://doi.org/10.17163/lgr.n27.2018.04>

Ledesma, S., Sione, S., Oszust, J. & Rosenverger, L. (2021). Estimación del contenido y captura potencial de carbono en la biomasa arbórea de bosques nativos del Espinal (entre Ríos, Argentina). *Revista FAVE - Ciencias Agrarias*, 20(1), 331-345. <http://www.scielo.org.ar/pdf/fave/v20n1/1666-7719-fave-20-01-331.pdf>

Liu, Y., Wang, X., Wen, Y., Cai, H., Song, X. & Zhang, Z. (2024). Effects of freeze-thaw cycles on soil greenhouse gas emissions: A systematic review. *Environmental Research*, 248. doi:<https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.118386>

Martel, C. & Cairampoma, L. (2012). Cuantificación del carbono almacenado en formaciones vegetales amazónicas en "CICRA" Madre de Dios (Perú). *Ecología Aplicada*, 11, 59 - 65. doi:<https://doi.org/10.21704/rea.v11i1-2.426>

Medina, C., Medina, Y. & Bocardo, E. (2020). Valoración económica del secuestro y almacenamiento de carbono en la puna seca del suroeste del Perú. *Bosque (Valdivia)*, 41(2), 165 - 172. doi:<https://doi.org/10.4067/S0717-92002020000200165>

Mena , V. & Andrade, H. (2021). Potencial de reducción de emisiones y captura de carbono en bosques y sistemas agroforestales con cacao en el Pacífico colombiano. *Revista de Biología Tropical*, 69(4), 1252-1263. doi:<https://doi.org/10.15517/rbt.v69i4.45927>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). *Decreto 870. Por el cual se establece el pago por servicios ambientales y otros incentivos a la conservación*. <https://faolex.fao.org/docs/pdf/col169221.pdf>

Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2016). *Resumen del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero del Ecuador. Serie temporal 1994-2012*. Quito, Ecuador. <https://info.undp.org/docs/pdc/Documents/ECU/06%20Resumen%20Ejecutivo%20INGEI%20de%20Ecuador.%20Serie%20Temporal%201994-2012.pdf>

Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica [MAATE]. (2023). *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático del Ecuador (2023 - 2027)*. Quito, Ecuador. https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2023/02/PNA_Plan-Nacional-de-Adaptacion_2023_2027.pdf

Mite, I., Vinces, M., Palma, G., Lucas, N. & Lucio, L. (2021). *Estimación de la huella de carbono en la ciudad de Manta*. UNESUM - Ciencias: Revista Científica Multidisciplinaria, 5(2), 33-52.

Montesdeoca, M. (2016). Diagnóstico de la fertilidad del suelo en áreas cultivadas de la ESPAM MFL. Obtenido de Repositorio ESPAM MFL: <https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/272/1/TA55.pdf>

Muñoz , M. & Vásquez, E. (2020). *Estimaciones del potencial de captura de carbono en los parques urbanos y emisiones de CO₂ vehicular en Cuenca, Ecuador*. Universidad Politécnica Salesiana: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18390/1/UPS-CT008694.pdf>

Naciones Unidas. (2015). *Acuerdo de París*. <https://www.un.org/es/climatechange/paris-agreement>

Organización Meteorológica Mundial [OMM]. (2021). OMM | Boletín sobre los gases de efecto invernadero. OMM.

Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático [IPCC]. (2021). *Resumen para responsables de políticas en Cambio climático 2021: la base de la ciencia física. Contribución del Grupo de Trabajo I al Sexto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático*. Cambridge University Press.

Peña, G. (2021). *Niveles de captura de carbono de las especies forestales maderables y no maderables de los parques - jardines de la ciudad de Moyobamba*. Universidad Nacional de San Martín: <https://repositorio.unsm.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/3f6d35c9-f01c-49fb-bf80-0ef26114d182/content>

Pereira, A., Shitsuka, D., Pereira, F. & Shitsuka, R. (2018). *Metodología da pesquisa científica*. Santa Maria/RS: Ed.UAB/NTE/USFM.

Pérez, L., Gamarra, L. & Sanqueta, C. (2022). Valoración económica de la reserva de Carbono del recurso arbóreo del Parque Dr. Claudio Pavetti, Asunción, Paraguay. *Investigación Agraria*, 24(1), 40 - 45. doi:<https://dx.doi.org/10.18004/investig.agrar.2022.junio.2401708>

Picetti, R., Juel, R., Milner, J., Bonell, A., Karakas, F., Dangour, A. & Hughes, R. (2023). Effects on child and adolescent health of climate change mitigation policies: A systematic review of modelling studies. *Environmental Research*, 238. doi:<https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.117102>

Rahman, M., Zimmer, M., Ahmed, I., Donato, D., Kanzaki, M. & Xu, M. (2021). Co-benefits of protecting mangroves for biodiversity conservation and carbon storage. *Nature Communications*, 12(3875). doi:<https://doi.org/10.1038/s41467-021-24207-4>

Rodríguez, A. & Pérez, A. (2017). Métodos científicos de indagación y de construcción del conocimiento. *Revista EAN*(82), 179-200. doi:<https://doi.org/10.21158/01208160.n82.2017.1647>

Romero, A. (2021). Actividad ganadera: evaluación de las emisiones y estrategias de mitigación. *Anales de la Real Academia de Doctores de España*, 6(2), 359 - 371. <https://www.rade.es/imageslib/doc/V6N2-08%20-%20ROMERO%20-%20actividad%20ganadera%20evaluaci%C3%B3n%20de%20las%20emisiones.pdf>

Ruiz, A. (2015). *La observación: Parte I. Una herramienta para la investigación*. https://deposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/67615/1/LA_OBSERVACI%C3%93N_Parte_I.pdf

Salas, A. (2018). *Métodos estadísticos para la investigación científica*. Guayaquil, Ecuador: Grupo Compás.

Shitsuka, R., Moreira, C. & Moreira, R. (2014). *Matemática fundamental para tecnología*. (2. ed.). Editora Erica.

Soto, C., Ravilious, C., Arnell, A., De Lamo, X., Harfoot, M., Hill, S. & Kapos, V. (2020). Mapping co-benefits for carbon storage and biodiversity to inform conservation policy and action. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 375, 1-13. doi:<https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0128>