



Captura de carbono del arbolado de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Ecuador

Carbon capture and sequestration of the tree of the Lay University Eloy Alfaro of Manabí, Ecuador

Captura e sequestro de carbono das árvores da Universidade Lay Eloy Alfaro de Manabí, Equador

Ricardo Javier Castillo Ruperti / Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Ecuador / ricardo.castillo@uleam.edu.ec

Vicente Enrique Bello Pinargote / Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Ecuador / enrique.bello@uleam.edu.ec

Yulio Santiago Loor Barrezueta / Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Ecuador / yulio.loor@uleam.edu.ec

Carlos César Ayón Hidalgo / Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Ecuador / carlos.ayon@uleam.edu.ec

Recibido: 3/3/2022

Aceptado: 8/7/2022

Publicado: 29/7/2022

RESUMEN

La importancia de los árboles para el ambiente se centra en los servicios que pueden ofrecer, siendo el de fijación de CO₂ uno de los más destacados. El objetivo de la investigación fue estimar la cantidad de carbono capturado por el arbolado de las áreas verdes de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Para este propósito se realizó un inventario del estrato arbóreo. Se registraron todos los individuos con diámetro a 1.30 m \geq 5 cm. Se evaluó la riqueza y abundancia, además de variables dendométricas (altura total, diámetro del tronco). Se calculó el carbono capturado a partir de la estimación de biomasa forestal. La densidad de la madera de las distintas especies se obtuvo de varias bases de datos forestales mundiales. Se identificaron 68 especies y 1200 individuos. La especie más abundante fue *Azadirachta indica* (37%). El secuestro de CO₂ fue de 19 650.76 t. A pesar de que se fija una importante cantidad de carbono, muchos ejemplares se encuentran en conflicto con infraestructura física, lo cual requiere la remoción de estos. Se recomienda diseñar nuevas áreas verdes bajo estrictas normas de calidad, priorizando especies nativas.

Palabras clave: diarbolado urbano, áreas verdes, *Azadirachta indica*, secuestro de CO₂, servicios ambientales

ABSTRACT

The importance of trees for the environment focuses on the services they can offer, CO₂ fixation being one of the most prominent. The objective of the research was to estimate the amount of carbon captured by the trees in the green areas of the Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. For this purpose, an inventory of the tree stratum was carried out. All individuals with a diameter at 1.30 m \geq 5 cm were recorded. Richness and abundance were evaluated, as well as dendrometric variables (total height, trunk diameter). The carbon captured was calculated from the estimate of forest biomass. The wood density of the different species was obtained from various global forestry databases. 68 species and 1200 individuals were identified. The most abundant species was *Azadirachta indica* (37%). CO₂ sequestration was 19 650.76 t. Although a significant amount of carbon is fixed, many specimens are in conflict with physical infrastructure, which requires their removal. It is recommended to design new green areas under strict quality standards, prioritizing native species.

Keywords: *Azadirachta indica*, CO₂ sequestration, environmental services, green areas, urban trees

RESUMO

A importância das árvores para o ambiente centra-se nos serviços que podem oferecer, sendo a fixação de CO₂ um dos mais destacados. O objetivo da pesquisa foi estimar a quantidade de carbono capturada pelas árvores nas áreas verdes da Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Para tanto, foi realizado um inventário do estrato arbóreo. Todos os indivíduos com diâmetro de 1.30 m \geq 5 cm foram registrados. Foram avaliadas a riqueza e abundância, bem como as variáveis dendométricas (altura total, diâmetro do tronco). O carbono capturado foi calculado a partir da estimativa da biomassa florestal. A densidade da madeira das diferentes espécies foi obtida de vários bancos de dados florestais globais. 68 espécies e 1200 indivíduos foram identificados. A espécie mais abundante foi *Azadirachta indica* (37%). O sequestro de CO₂ foi de 19 650.76 t. Embora uma quantidade significativa de carbono seja fixada, muitos espécimes estão em conflito com a infraestrutura física, o que exige sua remoção. Recomenda-se projetar novas áreas verdes sob rígidos padrões de qualidade, priorizando espécies nativas.

Palavras chave: áreas verdes, arborização urbana, *Azadirachta indica*, sequestro de CO₂, serviços ambientais

INTRODUCCIÓN

El interés por el estudio de la vegetación urbana se ha elevado en los últimos años, principalmente por los aportes de esta para mitigar los efectos del cambio climático.

Muchos gobiernos municipales adoptan medidas dirigidas a proteger los espacios naturales e incrementar las áreas verdes, y más recientemente la implementación de

la arquitectura verde (Velasco *et al.*, 2016). Estas iniciativas se relacionan con los beneficios que proporciona la vegetación en los ecosistemas urbanos tales como almacenar y secuestrar carbono, reducir la contaminación acústica, mejorar la calidad del aire, reducir el consumo de energía, mejorar el valor de la propiedad y la calidad de vida urbana, contribuir a la salud humana, mitigar el calor y los extremos climáticos (Edwards *et al.*, 2020).

Se estima que las áreas urbanas consumen el 67% de la energía global y producen el 71% de las emisiones de CO₂, principalmente por el volumen del tráfico, la quema de combustibles fósiles y el cambio de áreas naturales por superficies artificiales (International Energy Agency, 2008). A pesar de que en las zonas urbanas se generan altas emisiones de contaminantes a la atmósfera, los bosques urbanos solo aportan el 2.21% de las reservas de carbono frente a 17.11 toneladas de carbono/ha de la cubierta forestal y arbórea en general (Gratani *et al.*, 2016). En Ecuador, las emisiones de CO₂ en el año 2020 alcanzaron las 33 279 Mt (DatosMacro, 2020). Aunque las emisiones de Ecuador representan menos del 0.5% del CO₂ a nivel mundial, el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica sugiere la siembra de más de seis millones de árboles para mitigar la producción de CO₂ en zonas urbanas (Castillo-Ruperti *et al.*, 2022).

Los automotores se han identificado como los principales generadores de CO₂ en las zonas urbanas. Datos demuestran que en la ciudad de Manta el parque automotor (carros, camiones, buses, motocicletas) ha au-

mento de 41 000 en 2015 a 88 000 en 2017 (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2018), lo que sugiere un incremento de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera. Con relación a esto, la *Convención de Naciones Unidas para el Cambio Climático* ha propuesto la mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero como estrategia para luchar contra el cambio climático (Naciones Unidas, 1992).

Pocos estudios locales disponibles evalúan los aportes del arbolado urbano para la eliminación directa del CO₂ de la atmósfera. Castillo-Ruperti *et al.* (2022) en su investigación sobre el arbolado del parque de La Madre (parque de mayor dimensión en Manta) determinan que los 87 árboles evaluados captan 36 555.78 kg de CO₂ de la atmósfera. Sin embargo, en zonas importantes de la urbe como la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, en la cual se han identificado hasta 29 áreas verdes (Piloza, 2017), no se ha estudiado el potencial del arbolado en el secuestro de CO₂.

Considerando que los parques urbanos proporcionan la mayor parte de espacios verdes públicos disponibles para los habitantes urbanos (Latinopoulos, 2022), y que el arbolado que los integra cumple un papel fundamental a la hora de mitigar las emisiones de CO₂ generadas en las zonas urbanas mediante el proceso de fijación a través de la fotosíntesis (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2021), los urbanistas y arquitectos no han tomado en cuenta estos aspectos a la hora de planificar y desarrollar nuevas áreas urbanas (Danilina *et al.*, 2021). Esfuerzos rea-

lizados por la administración municipal de Manta para mitigar la contaminación atmosférica como el programa *Manta Reverdece* no parecen ser suficientes, además de evidenciar no estar correctamente planificado ni implementado, ya que las características a tener en cuenta al plantar un árbol; tales como la selección de especies adaptadas al clima local, la composición, estado, distribución, estructura de cada una de las especies y el manejo, no parecen ser las correctas. El no tener en consideración estas particularidades limitaría el potencial del arbolado urbano de secuestrar CO₂ según lo plantea Sharma *et al.* (2021).

Por ende, la presente investigación tiene como objetivo estimar la cantidad de carbono capturado por el arbolado urbano de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Ecuador a través del cálculo de la biomasa forestal (Brown y Lugo, 1992; Raihan *et al.*, 2021). De esta forma se podrá valorar el po-

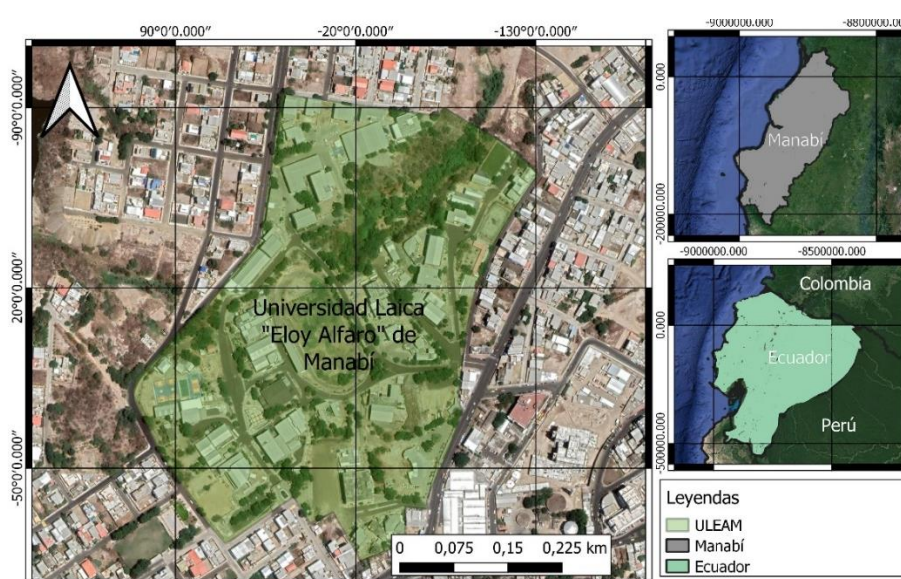
tencial del arbolado urbano de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí para fijar CO₂. De esta forma se brindará información útil a los tomadores de decisiones que les permitirá diseñar planes de gestión de áreas verdes eficientes y, además, proyectar nuevas áreas verdes eligiendo las especies de árboles en función de su capacidad para secuestrar CO₂.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La investigación se realizó en la sede de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, ubicada en la ciudad de Manta, Ecuador (*figura 1*). Posee una extensión aproximada de 214 283 m². Presenta varias infraestructuras civiles (edificios, calles, aceras, postes y cableado) y diversas áreas verdes de distintas características y variados fines. Además, es considerado uno de los espacios con mayor densidad arbórea de la ciudad.

Figura 1. Ubicación de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.



Fuente: Elaboración propia.

Inventario forestal

El inventario forestal se realizó de febrero a septiembre de 2021, seleccionando solo las especies leñosas ≥ 5 cm. Se evaluó la riqueza y abundancia del estrato arbóreo presente en las áreas verdes (aceras, jardines y parques) de la institución, independientemente de su función. La identificación de especies se realizó mediante la observación directa apoyada por distintas guías de campo. Como parte de la colección de datos se realizaron registros fotográficos. Las especies identificadas fueron categorizadas por ecosistemas de procedencia (húmedo, seco) y por la distribución del taxón (endémica, introducida, nativa).

Se estimó el diámetro (DAP) midiendo la longitud de circunferencia (LC) en centímetros a 1.3 m de altura del tallo con una cinta métrica. Se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$DAP = LC/\pi$$

Por su parte la altura de los árboles se midió mediante el método de comparación de triángulos:

$$H = h * (D/d)$$

Donde

H = Altura del árbol (m)

h = Distancia en la regla entre la base y copa del árbol observado

D = Distancia entre el observador y el árbol

d = Distancia entre la regla y el observador

El área basal se estimó aplicando la fórmula:

$$AB = (\pi/4) * DAP^2$$

Donde

AB = Área basal (m²)

$\pi = 3.1416$

DAP = Diámetro a 1.3 metros

El volumen de los árboles se determinó usando la siguiente fórmula:

$$\text{Volumen} = AB * H * ff$$

Donde

AB = Área basal (m²)

H = Altura

ff = factor de forma (0.7) (Ministerio del Ambiente, 2012)

La estructura arbórea de las áreas verdes de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí se analizó mediante clases diamétricas de intervalos de 5 cm y clases altimétricas de intervalos de 5 m.

Estimación de CO₂ capturado en árboles

Para estimar el CO₂ capturado por el estrato arbóreo de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí se utilizó el método propuesto por Jumbo-Salazar *et al.* (2018). El uso de este método requiere determinar, previamente, la biomasa forestal.

Se utilizaron los factores de expansión para biomasa aérea y subterránea propuestos por el Panel de Cambio Climático para especies de zonas climáticas tropicales, aplicando un factor de expansión de 5.0 y 1.9 para especies con volúmenes < 20 m³ y entre 21-40 m³ respectivamente (Aalde *et al.*, 2006). La densidad de madera de cada especie fue obtenida de bases de datos de fuentes secundarias (Aalde

et al., 2006; Orwa et al., 2009; Arroyave et al., 2014). El valor de la biomasa forestal se obtuvo mediante la fórmula propuesta por Brown y Lugo (1992) que se representa a continuación:

$$Bf = \text{Volumen} * GE * FEBa * FEBS$$

Donde

Bf = Biomasa forestal (t)

GE = Densidad de la madera (t/m³)

FEBa = Factor de expansión de biomasa aérea

FEBS = Factor de expansión de biomasa subterránea

El carbono almacenado en el arbolado se calculó a partir de la fracción de la biomasa de los individuos (0.49), propuesta por Aalde et al. (2006):

$$C = Bf * Fc$$

Donde

C = Carbono (t)

Bf = Biomasa forestal

Fc = Fracción de carbono

Para estimar la cantidad de CO₂ capturado, se entiende que una tonelada de carbono equivale a 3.67 t de CO₂ secuestrado, se usó la ecuación de Jumbo-Salazar et al. (2018):

$$CO_2 = C * 3.67$$

Donde

CO₂ = cantidad de dióxido de carbono capturado en toneladas de CO₂

3.67 = fracción que se usa para convertir carbono en toneladas de CO₂

RESULTADOS

Composición y estructura del arbolado

El arbolado de las áreas verdes de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí se encuentra distribuido de forma heterogénea entre parques, jardines y aceras de la institución. Como resultado de la evaluación en campo se identificaron un total de 68 especies de árboles y 1200 individuos. La especie más abundante fue *Azadirachta indica* (37%), seguida por la especie *Adonidia merrillii* (12%), ambas introducidas. La mayoría de las especies (66) identificadas han sido descritas como afines a ecosistemas secos (tabla 1).

Tabla 1. Riqueza y abundancia de especies.

Nombre Científico	Abundancia	FR	Ecosistema		Categoría		
			H	S	E	I	N
<i>Azadirachta indica</i>	441	0.3669		x			x
<i>Adonidia merrillii</i>	142	0.1181		x			x
<i>Mangifera indica</i>	60	0.0499	x				x
<i>Prosopis spp.</i>	51	0.0424		x			x
<i>Bucida buceras</i>	48	0.0399		x			x
<i>Cocos nucifera</i>	43	0.0358		x			x
<i>Tamarindus indica</i>	37	0.0308		x			x
<i>Samanea saman</i>	32	0.0266		x			x
<i>Tabebuia chrysantha</i>	31	0.0258		x			x
<i>Caesalpinia pluviosa</i>	29	0.0241		x			x
<i>Albizia guachapele</i>	22	0.0183		x			x
<i>Inga edulis</i>	22	0.0183		x			x

<i>Pithecellobium excelsum</i>	20	0.0166	x	x
<i>Ficus benjamina</i>	19	0.0158	x	x
<i>Psidium guajava</i>	13	0.0108	x	x
<i>Caesalpinia pulcherrima</i>	11	0.0092	x	x
<i>Acacia macracantha</i>	10	0.0083	x	x
<i>Delonix regia</i>	10	0.0083	x	x
<i>Cnidocolus aconitifolius</i>	8	0.0067	x	x
<i>Spondias purpurea</i>	8	0.0067	x	x
<i>Leucaena leucocephala</i>	7	0.0058	x	x
<i>Spathodea campanulata</i>	7	0.0058	x	x
<i>Cavanillesia platanifolia</i>	6	0.0050	x	x
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	6	0.0050	x	x
<i>Phoenix dactylifera</i>	6	0.0050	x	x
<i>Terminalia catappa</i>	6	0.0050	x	x
<i>Vitex gigantea</i>	6	0.0050	x	x
<i>Annona cherimola</i>	5	0.0042	x	x
<i>Annona muricata</i>	5	0.0042	x	x
<i>Moringa oleifera</i>	5	0.0042	x	x
<i>Pithecellobium dulce</i>	5	0.0042	x	x
<i>Syzygium jambos</i>	5	0.0042	x	x
<i>Terminalia catappa</i>	5	0.0042	x	x
<i>Dyopsis lutescens</i>	4	0.0033	x	x
<i>Muntingia calabura</i>	4	0.0033	x	x
<i>Plumeria rubra</i>	4	0.0033	x	x
<i>Acacia sp.</i>	3	0.0025	x	x
<i>Annona squamosa</i>	3	0.0025	x	x
<i>Citrus × sinensis</i>	3	0.0025	x	x
<i>Parkinsonia aculeata</i>	3	0.0025	x	x
<i>Robinia pseudoacacia</i>	3	0.0025	x	x
<i>Tabebuia rosea</i>	3	0.0025	x	x
<i>Ceiba trichistandra</i>	2	0.0017	x	x
<i>Ceratonia siliqua</i>	2	0.0017	x	x
<i>Citrus × limon</i>	2	0.0017	x	x
<i>Citrus reticulata</i>	2	0.0017	x	x
<i>Cupressus sempervirens</i>	2	0.0017	x	x
<i>Ficus revoluta</i>	2	0.0017	x	x
<i>Guazuma ulmifolia</i>	2	0.0017	x	x
<i>Libidibia corymbosa</i>	2	0.0017	x	x
<i>Pachycereus pringlei</i>	2	0.0017	x	x
<i>Phoenix canariensis</i>	2	0.0017	x	x
<i>Punica granatum</i>	2	0.0017	x	x
<i>Swietenia macrophylla</i>	2	0.0017	x	x
<i>Wodyetia bifurcata</i>	2	0.0017	x	x
<i>Araucaria heterophylla</i>	1	0.0016	x	x

<i>Bursera graveolens</i>	1	0.0008	x	x
<i>Casuarina equisetifolia</i>	1	0.0008	x	x
<i>Cordia alliodora</i>	1	0.0008	x	x
<i>Crosopidey palides</i>	1	0.0008	x	x
<i>Gallesia integrifolia</i>	1	0.0008	x	x
<i>Jatropha integerrima</i>	1	0.0008	x	x
<i>Mammea americana</i>	1	0.0008	x	x
<i>Nerium oleander</i>	1	0.0008	x	x
<i>Phyllantus acidus</i>	1	0.0008	x	x
<i>Ribes rubrum</i>	1	0.0008	x	x
<i>Vallesia glabra</i>	1	0.0008	x	x
Total general	1200			

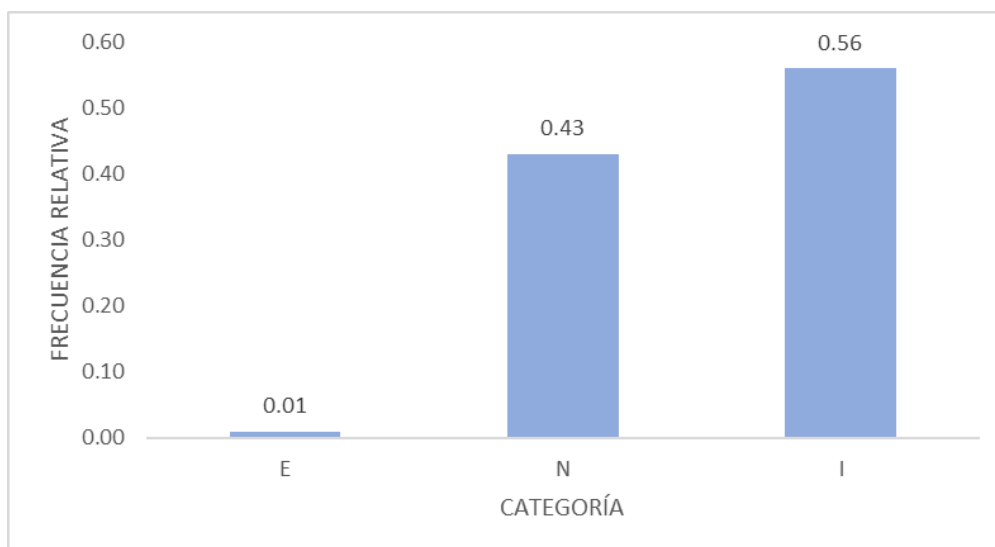
Nota: FR: frecuencia relativa; H: ecosistema húmedo; S: ecosistema seco; E: endémicas; I: introducidas y N: nativas.

Fuente: Elaboración propia.

Respecto a la frecuencia de especies categorizadas según su origen y distribución, sobresalen las introducidas, alcanzando el 56%, lo que corresponde a 38 especies. Destaca, como

parte del arbolado de las áreas verdes de la Universidad Lay Eloy Alfaro de Manabí, una especie endémica (figura 2).

Figura 2. Frecuencia relativa de las categorías de especies.



Nota: E: endémicas; I: introducidas y N: nativas.

Fuente: Elaboración propia.

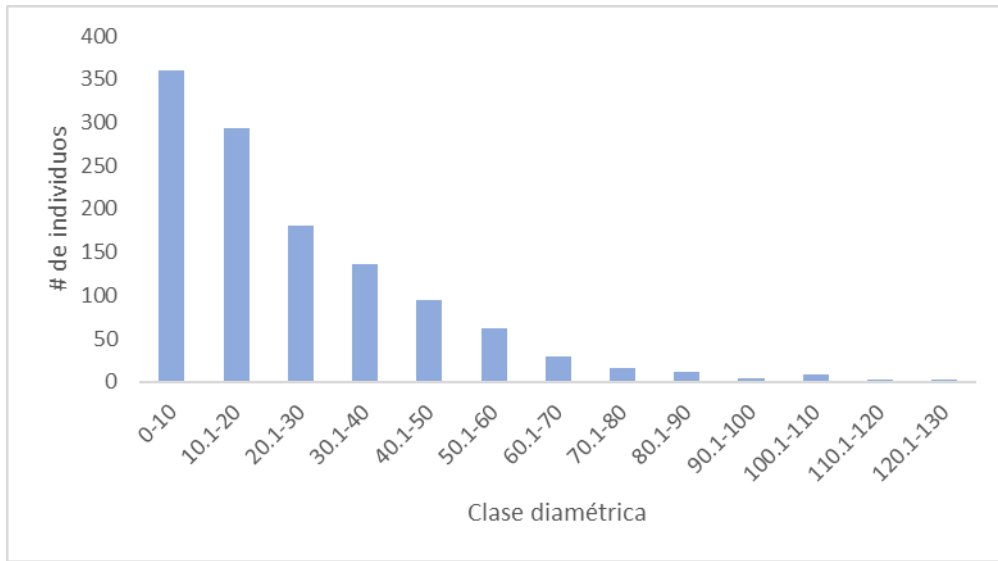
El área basal total del arbolado fue de 95.42 m², lo que representa un valor de 4.45 m²/ha. La especie con mayor índice basal fue *Azadirachta indica*, alcanzando los 64.60 m². El volumen

total de madera que se obtuvo fue de 727.42 m³, siendo la especie *Azadirachta indica* la de mayor volumen 512.44 m³, lo que representa el 70% del volumen total.

En la *figura 3* se presenta la distribución de árboles por clases diamétricas, determinando la primera clase como la más abundante (30%). El 80% de los árboles (n=971) no superan los 40 cm de diámetro. La distribución de clases

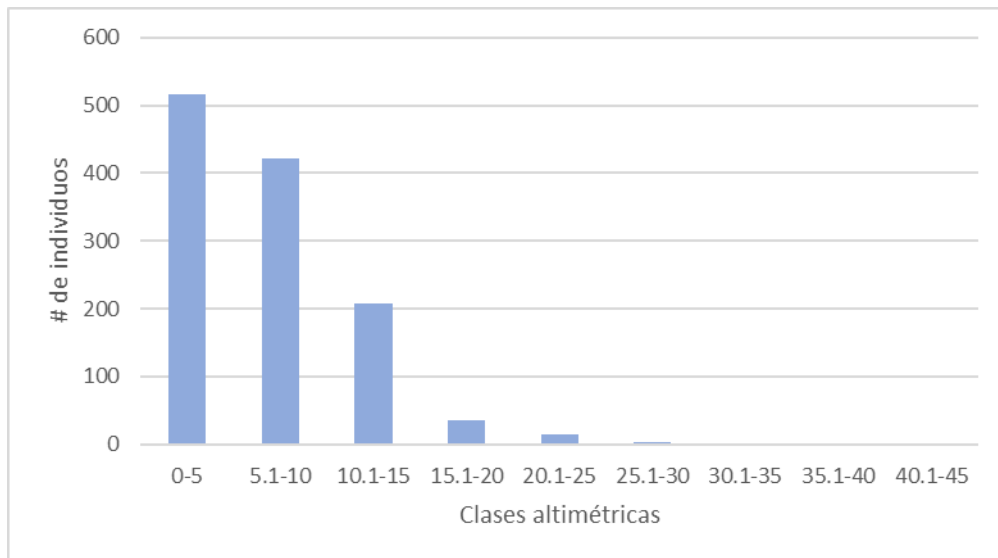
altimétricas mostró la misma tendencia que las clases diamétricas. El 78% de los árboles no superan los 10 m (*figura 4*). Solo un árbol alcanzó una altura superior a los 40 m.

Figura 3. Distribución de clases diamétricas del arbolado.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4. Distribución de clases altimétricas del arbolado.



Fuente: Elaboración propia.

Captura de CO₂

Las especies con mayor densidad son: *Tabebuia chrysantha* (1.04 t/m³), *Tamarindus indica* (0.99 t/m³) y *Caesalpinia pluviosa* (0.89 t/m³). La biomasa arbórea calculada total fue de 10 927.41 t. Mientras que el carbono almacenado cubre 5 354.43 t, lo que representa 40 t/ha. En ambos casos, la especie *Azadirachta indica* acumula la mayor biomasa forestal (7825.58 t) y carbono almacenado (3834.53 t/ha), esto representa el 70% de biomasa forestal y

carbono almacenado por esta especie. En el área de estudio, el CO₂ capturado se estimó en 19 650.76 t, lo que resulta en 10.90 t/ha de carbono capturado por el arbolado de las áreas verdes de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (tabla 2). La especie que se destaca por sobre las demás es *Azadirachta indica*, la cual captura el 72% del CO₂ (14 072.74 t) de todo el arbolado de las áreas verdes de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (figura 5).

Tabla 2. Captura de carbono por especies.

Nombre científico	Densidad (t/m ³)	Bf (t)	Carbono almacenado (t)	CO ₂ capturado (t)
<i>Azadirachta indica</i>	0.64	7825.58	3834.53	14 072.74
<i>Prosopis spp.</i>	0.85	671.95	329.26	1208.37
<i>Samanea saman</i>	0.52	578.52	283.47	1040.35
<i>Ficus benjamina</i>	0.65	421.99	206.77	758.86
<i>Caesalpinia pluviosa</i>	0.89	303.53	148.73	545.83
<i>Tamarindus indica</i>	0.99	108.69	53.26	195.45
<i>Acacia sp.</i>	0.65	103.36	50.65	185.88
<i>Spondias purpurea</i>	0.40	95.00	46.55	170.84
<i>Mangifera indica</i>	0.65	94.00	46.06	169.03
<i>Pithecellobium excelsum</i>	0.64	71.89	35.23	129.29
<i>Caesalpinia pulcherrima</i>	0.84	70.49	34.54	126.77
<i>Delonix regia</i>	0.58	68.35	33.49	122.92
<i>Leucaena leucocephala</i>	0.64	63.24	30.99	113.72
<i>Cnidocolus aconitifolius</i>	0.62	57.30	28.08	103.04
<i>Ceratonia siliqua</i>	0.79	52.50	25.73	94.41
<i>Acacia macracantha</i>	0.65	45.20	22.15	81.28
<i>Adonidia merrillii</i>	0.49	42.45	20.80	76.33
<i>Albizia guachapele</i>	0.56	38.24	18.74	68.76
<i>Cocos nucifera</i>	0.50	32.80	16.07	58.99
<i>Terminalia catappa</i>	0.54	24.04	11.78	43.24
<i>Tabebuia chrysantha</i>	1.04	18.67	9.15	33.57
<i>Psidium guajava</i>	0.65	15.26	7.48	27.44
<i>Robinia pseudoacacia</i>	0.69	14.51	7.11	26.10
<i>Punica granatum</i>	0.77	13.08	6.41	23.52
<i>Casuarina equisetifolia</i>	0.83	11.10	5.44	19.97
<i>Inga edulis</i>	0.51	10.60	5.19	19.06

<i>Bucida buceras</i>	0.69	10.48	5.13	18.84
<i>Muntingia calabura</i>	0.55	7.72	3.78	13.89
<i>Citrus × sinensis</i>	0.78	5.90	2.89	10.61
<i>Pithecellobium dulce</i>	0.64	4.76	2.33	8.56
<i>Ficus revoluta</i>	0.65	4.73	2.32	8.51
<i>Terminalia catappa</i>	0.54	4.65	2.28	8.36
<i>Swietenia macrophylla</i>	0.42	3.70	1.82	6.66
<i>Syzygium jambos</i>	0.70	3.40	1.67	6.12
<i>Guazuma ulmifolia</i>	0.52	2.94	1.44	5.28
<i>Vitex gigantea</i>	0.52	2.93	1.44	5.27
<i>Phoenix dactylifera</i>	0.46	2.22	1.09	3.99
<i>Moringa oleifera</i>	0.262	1.96	0.96	3.52
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	0.639	1.94	0.95	3.50
<i>Parkinsonia aculeata</i>	0.66	1.77	0.86	3.17
<i>Araucaria heterophylla</i>	0.67	2.70	1.33	4.87
<i>Cupressus sempervirens</i>	0.59	1.52	0.75	2.73
<i>Annona muricata</i>	0.32	1.43	0.70	2.56
<i>Ceiba trichistandra</i>	0.26	1.34	0.66	2.41
<i>Annona cherimola</i>	0.32	1.34	0.66	2.41
<i>Dyopsis lutescens</i>	0.50	1.30	0.64	2.33
<i>Citrus reticulata</i>	0.78	1.18	0.58	2.13
<i>Jatropha integerrima</i>	0.56	0.86	0.42	1.54
<i>Pachycereus pringlei</i>	0.54	0.65	0.32	1.17
<i>Plumeria rubra</i>	0.62	0.60	0.29	1.08
<i>Wodyetia bifurcata</i>	0.66	0.57	0.28	1.03
<i>Phoenix canariensis</i>	0.46	0.47	0.23	0.85
<i>Tabebuia rosea</i>	0.53	0.36	0.18	0.65
<i>Libidibia corymbosa</i>	0.75	0.23	0.11	0.42
<i>Nerium oleander</i>	0.60	0.19	0.09	0.35
<i>Phyllanthus acidus</i>	0.59	0.18	0.09	0.33
<i>Spathodea campanulata</i>	0.33	0.17	0.08	0.31
<i>Cordia alliodora</i>	0.46	0.16	0.08	0.28
<i>Vallesia glabra</i>	0.48	0.15	0.07	0.27
<i>Mammea americana</i>	0.64	0.13	0.07	0.24
<i>Cavanillesia platanifolia</i>	0.32	0.12	0.06	0.22
<i>Gallesia integrifolia</i>	0.69	0.09	0.04	0.15
<i>Annona squamosa</i>	0.32	0.08	0.04	0.14
<i>Citrus × limon</i>	0.78	0.06	0.03	0.10
<i>Bursera graveolens</i>	0.28	0.05	0.02	0.09
<i>Ribes rubrum</i>	0.73	0.04	0.02	0.07
Total general		10 927.41	5354.43	19 650.76

Nota: Bf: biomasa forestal en toneladas por especie.

Fuente: Elaboración propia.

DISCUSIÓN

Composición y estructura

Se identificaron un total de 1 200 individuos de 68 especies. La significativa cantidad de especies nativas (44%) de las áreas verdes de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí se asemeja a lo reportado en áreas verdes urbanas en otras ciudades de Ecuador como Otavalo con 41% (Farinango-Carlosama, 2020), Cuenca 41% (Muñoz y Vásquez, 2020) e Ibarra 37% (Farinango, 2020); incluso en otros países hay valores similares como en Brasil con 59% (Muneroli y Mascaró, 2010) y la India con 42% (Divakara *et al.*, 2022). A pesar de esto, se evidenció que por causa de la expansión urbana los ecosistemas naturales disminuyen y con esto la presencia de especies nativas tal y como lo expone Divakara *et al.* (2022), aspecto que se puede observar en las recientes áreas verdes implementadas en la ciudad de Manta, las cuales están compuestas en su mayor proporción por especies exóticas (Arteaga y Casanova, 2018).

El 56% de las especies evaluadas son árboles introducidos, sobresaliendo sobre las demás la especie *Azadirachta indica* (37%), proveniente del sur de Asia. Se ha demostrado que esta especie no es apropiada para la implementación en áreas verdes debido a que presenta un comportamiento agresivo frente a otras especies, compitiendo por la humedad disponible en el suelo y provocando daños a la infraestructura civil (Cristancho, 2020). Además, es considerada una especie invasiva que se propaga de manera natural en la institución. De acuerdo con Dyderski y

Jagodzinski (2020) las especies introducidas pueden generar impactos negativos sobre la regeneración de árboles en zonas naturales, afectando la persistencia de los bosques. Por otra parte, Xie (2018) sugiere que el uso de especies introducidas en parques o áreas verdes es posible debido a que su principal importancia se centra en el potencial que tienen estas para cumplir una función ornamental y paisajística como ecosistema urbano. Sin embargo, la conservación de la biodiversidad cumple a diferentes niveles con la promoción de servicios ecosistémicos, relevando la importancia de implementar en los diseños de nuevas áreas verdes la inclusión de ejemplares nativos con el fin de conservar y promover la biodiversidad, sin dejar de considerar los aspectos ornamentales y paisajísticos (Kowarik *et al.*, 2020).

Las mediciones dendrométricas determinaron que la especie *Azadirachta indica*, tiene los ejemplares más altos y, por sus propias características, también tienen el mayor diámetro, así como mayor área basal y volumen. A pesar de lo anterior, en el área de estudio la variable más influyente para determinar las especies con mayor área basal y diámetro a 1.30 m fue la abundancia.

Por su parte, en las clases diamétricas y altimétricas la mayor proporción de especímenes estuvieron por debajo de los 90 cm de diámetro del tronco y 25 m de altura respectivamente. Las *figuras 3 y 4* demuestran una elevada cantidad de individuos juveniles, esto debido a los recientes esfuerzos de repoblar la institución con árboles. Los árboles

juveniles contrastan con los árboles adultos sembrados hace más de 10 años en las áreas verdes más antiguas.

Captura de CO₂

Para el análisis del secuestro de carbono la biomasa es un indicador importante, por lo tanto, estimar la biomasa en los árboles es el primer paso para contabilizar el carbono (Arroyave, 2018). En este sentido, se pudo estimar una biomasa forestal del arbolado de 7825.58 t, lo que resultó en 5354.43 t de carbono almacenado. A pesar de que la riqueza de especies arbóreas es amplia y que las densidades de madera varían según la especie, esta variable no se puede considerar como único criterio para analizar a las especies en diferentes grupos funcionales (Arroyave, 2018) y más bien será el conjunto de variables dendrométricas, la abundancia de las especies y el estado fisiológico de estas lo que determine la capacidad para almacenar carbono del arbolado.

Respecto a las especies que más capturan CO₂, fueron las más abundantes *Azadirachta indica*, *Prosopis spp* y *Samanea saman*. Si bien el 56% de las especies son introducidas, el arbolado urbano debería valorarse por el rol de los servicios ecosistémicos que ofrecen sobre el clima y la calidad del aire en áreas urbanas, independientemente de la categoría de las especies evaluadas (introducidas, nativas, endémicas). Estos servicios impactan de forma positiva sobre el bienestar y la salud física de las personas que se ven afectadas por la contaminación atmosférica en estas zonas (Kiss *et al.*, 2015). En este sentido, Arroyave

et al. (2019) demuestran que los árboles urbanos estudiados, además de secuestrar CO₂, eliminan contaminantes atmosféricos como el monóxido de carbono (CO), el dióxido de nitrógeno (NO₂), material particulado (PM_{2.5}), PM₁₀ y ozono (O₃). No obstante a esto, se ha señalado que el CO₂ emitido en las urbes, generado por el parque automotor, no es compensado por las áreas verdes urbanas (Farinango-Carlosama, 2020; Farinango, 2020; Virdo *et al.*, 2022).

A pesar de que la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí es una de las zonas más densamente pobladas de árboles en la ciudad, lo expuesto anteriormente sugiere que es necesario evaluar las emisiones de CO₂ generadas por el parque automotor en diferentes franjas horarias, debido a que en las horas pico suele aumentar el tráfico vehicular (Rojas *et al.*, 2018). Adicionalmente, se debe considerar la estratificación de las áreas céntricas y suburbanas, las cuales reciben diferentes aportes de CO₂ (Velasco *et al.*, 2016). De esta manera se podrá comprender mejor las relaciones entre los aportes de dióxido de carbono a la atmósfera y el potencial de capturar CO₂ del arbolado urbano.

En la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí varios elementos arbóreos han sido objeto de podas severas relacionadas con plagas, falta de mantenimiento y en algunos casos, por el tendido eléctrico, postes, redes de internet y cámaras de seguridad. De acuerdo con Gratani *et al.* (2016) el mantenimiento del arbolado es indispensable para evitar malas prácticas de poda, las cuales pueden reducir o anular el

secuestro de CO₂. Además, los costos asociados para la prevención del contacto de los árboles y las líneas eléctricas pueden ser enormes, por lo que la disminución de la probabilidad de tales casos debe ser primordial en el diseño de nuevas áreas verdes (Czaja *et al.*, 2020).

En varias zonas se observaron conflictos de diferentes especímenes relacionados con el levantamiento de aceras e invasión de las raíces a edificios y cisternas. Estos problemas requieren la remoción de estos especímenes, lo cual sin lugar a duda generará controversias motivadas porque la mayoría de estos individuos son adultos y los espacios de cobertura que proporcionan son bien aprovechados. A pesar de las discusiones que se puedan generar, lo correcto será erradicar estos árboles conflictivos y reemplazarlos, en la medida de lo posible, por especies aptas para estos espacios según lo planteado por Paganová y Vyhnáliková (2018).

Para mejorar el potencial de los servicios ecosistémicos que ofrecen las áreas verdes de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí se requiere implementar o mejorar las políticas que promueven la plantación de árboles, la conservación y modificación de espacios verdes urbanos y la arquitectura verde (Flores *et al.*, 2021). Por ende, será necesario obtener más información detallada de las áreas verdes urbanas para que los administradores puedan diseñar e implementar estrategias para maximizar la función ecológica del arbolado (Turner-Skoff y Cavender, 2019). Entonces, para generar áreas verdes más eficientes en la captura de dióxido de carbono, estas deberán

contar con árboles por sobre otro tipo de vegetación (Wang *et al.*, 2021). También, será importante incluir árboles en áreas grises para mejorar la sensación térmica (Wang *et al.*, 2021), así como, la inclusión de especies perennifolias, las cuales fijan más CO₂ durante el año, como lo expresa Velasco *et al.* (2016). Se deberá tener en consideración que a pesar de que el césped tiene un importante valor paisajístico, captan muy poco CO₂ por sus capacidades fisiológicas (Gratani *et al.*, 2016); por lo que se sugiere implementar cobertura arbórea en los sitios donde existe césped y donde se planifiquen espacios con esta vegetación. Sumado a esto, se ha determinado que el mal mantenimiento del arbolado urbano afecta la capacidad de estos especímenes para fijar CO₂; por ende, la planificación y el manejo de las áreas verdes es fundamental para conservar estos servicios ecosistémicos (Zucchetti *et al.*, 2020).

CONCLUSIONES

La Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí cuenta con una importante cantidad de árboles en sus áreas verdes, las cuales, bien gestionadas, contribuyen a la prestación de servicios ecosistémicos. Además, la alta densidad de árboles y ante la deficiente cantidad de áreas verdes en la ciudad, la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí se convierte en un sitio de vital importancia para la promoción del servicio de captación de carbono en el entorno urbano.

La falta de planificación en la implantación de áreas verdes, desarrollo de infraestructura y selección de ejemplares arbóreos son los

principales problemas que limitan el potencial del arbolado urbano en la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí para fijar CO₂; por lo que se puede entender que el potencial del arbolado irá disminuyendo en función de las labores de mantenimiento y retiro de ejemplares que generan conflictos con la infraestructura.

El estudio brinda información importante sobre el potencial de capturar de CO₂ por parte del arbolado de las áreas verdes de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Estos resultados aportarán a la comprensión de las relaciones de emisión y fijación de CO₂.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aalde, H., Gonzalez, P., Gytarsky, M., Krug, T., Kurz, W. A., Ogle, S., Raison, J., Schoene, D., Ravindranath, N. H., Elhassan, N. G., Heath, L. S., Higuchi, N., Kainja, S., Matsumoto, M., Sanz, M. J. y Somogyi, Z. (2006). Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra. En H.S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara y K. Tanabe (Eds), *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero* (Vol. 4). Instituto para las Estrategias Ambientales Globales. <https://bit.ly/3ciocMV>
- Arroyave, M. (2018). *Estimación del crecimiento, la biomasa y la captura de carbono de tres especies arbóreas del bosque urbano en los municipios de Medellín y Envigado* [Tesis de Maestría, Universidad EIA]. Repositorio Institucional. <https://bit.ly/3c0CMbU>
- Arroyave, M. P., Posada, M. I. y Gutiérrez, M. E. (2014). *Catálogo virtual de flora del Valle de Aburrá*. Universidad EIA. <http://catalogofloravalleaburra.eia.edu.co>
- Arroyave, M., Posada, M. I., Nowak, D. J. y Hoehn, R. E. (2019). Remoción de contaminantes atmosféricos por el bosque urbano en el valle de Aburrá. *Colombia Forestal*, 22(1), 5-16. <https://doi.org/h4j2>
- Arteaga, N. y Casanova, K. (2018). *Valoración económica y ambiental del arbolado en la zona centro sur de Manta, tramo parque de la Madre – redondel de Barbasquillo* [Tesis de Grado no publicada]. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí
- Brown, S. y Lugo, A. E. (1992). Above ground biomass estimates for tropical moist forests of the Brazilian Amazon. *Interciencia*, 17(1), 8-18. <https://bit.ly/3PIDfUS>
- Castillo-Ruperti, R. J., Rodríguez-Guerrero, B. y Bravo-Meza, K. (2022). Fijación de carbono (CO₂) del arbolado de los parques La Rotonda y La Madre, Manabí, Ecuador. *Revista Científica Multidisciplinaria Arbitrada Yachasun*, 6(10), 8-21. <https://doi.org/h4kq>
- Cristancho, F. A. (2020). *Propiedades y cualidades del árbol de Neem (Azadiractha indica a. juss) como especie promisorio en arreglos agroforestales* [Tesis de Grado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. Repositorio Institucional. <https://bit.ly/3lyamIK>

- Czaja, M., Kołton, A. y Muras, P. (2020). The complex issue of urban trees-stress factor accumulation and ecological service possibilities. *Forest*, 11(9), 932. <https://doi.org/10.3390/f11090932>
- Danilina, N., Tsurenkova, K. y Berkovich, V. (2021). Evaluating urban green public spaces: The case study of Krasnodar Region cities, Russia. *Sustainability*, 13(24), 14059. <https://doi.org/h4kr>
- DatosMacro. (2020). *Ecuador - Emisiones de CO₂ en 2020*. Recuperado el 4 de enero de 2022 de <https://bit.ly/3ySVkDT>
- Divakara, B. N., Nikitha, C. U., Nölke, N., Tewari, V. P. y Kleinn, C. (2022). Tree diversity and tree community composition in northern part of megacity Bengaluru, India. *Sustainability*, 14(3), 1295. <https://doi.org/h4ks>
- Dyderski, M. K. y Jagodzinski, A. M. (2020). Impacts of alien tree species on the abundance and diversity of terricolous bryophytes. *Folia Geobotanica*, 55, 351–363. <https://doi.org/gn49t8>
- Edwards, P. J., Drillet, Z., Richards, D. R., Fung, T. K., Song, X. P., Leong, R. A. T., Gaw, L. Y. F., Yee, A. T. K., Quazi, S. A., Ghos, S. y Chua, K. W. J. (2020). Ecosystem services in urban landscapes: Benefits of tropical urban vegetation. Singapore-ETH Centre/Future Cities Laboratory. <https://bit.ly/3ytdxq7>
- Farinango, J. P. (2020). Determinación de la relación de emisión y captura de carbono en el arbolado de las avenidas de cuatro parroquias urbanas del cantón Ibarra [Tesis de Grado, Universidad Técnica del Norte]. Repositorio Institucional. <https://bit.ly/3nWmIKV>
- Farinango-Carlosama, J. N. (2020). *Estimación de la captura de carbono del arbolado urbano en la Cabecera cantonal de Otavalo, provincia de Imbabura* [Tesis de Grado, Universidad Técnica del Norte]. Repositorio Institucional. <https://bit.ly/3AGBZHH>
- Flores, K. L., García, F. E., Irigoín, Y. y Taype, C. A. (2021). *Los espacios verdes públicos y su influencia en la calidad de vida urbana en el distrito de Lurín, 2020*. *Arquitectura y Urbanismo Ambiental*, 24. <https://doi.org/10.21142/tb.2021.1966>
- Gratani, L., Varone, L. y Bonito, A. (2016). Carbon sequestration of four urban parks in Rome. *Urban Forestry & Urban Greening*, 19(1), 184-193. <https://doi.org/f882i8>
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2018). *Anuario de Estadísticas de Transporte 2017* [PDF]. <https://bit.ly/2P5yp3h>
- International Energy Agency. (2008). *World Energy Outlook: 2008*. OECD/IEA. <https://bit.ly/3ch6klr>

- Jumbo-Salazar, C. A., Arévalo, C. D. y Ramirez-Cando, L. J. (2018). Carbon measurement of the natural forest arbóreo stratum, Tinajillas-Limon Indanza, Ecuador. *La Granja*, 27(1), 49-61. <https://doi.org/h5jk>
- Kiss, M., Takács, A., Pogácsás, R. y Gulyás, A. (2015). The role of ecosystem services in climate and air quality in urban areas: Evaluating carbon sequestration and air pollution removal by street and park trees in Szeged (Hungary). *Moravian Geographical Reports*, 23(3). <https://doi.org/gf39td>
- Kowarik, I., Fischer, L. K. y Kendal, D. (2020). Biodiversity conservation and sustainable urban development. *Sustainability*, 12(12), 4964. <https://doi.org/10.3390/su12124964>
- Latinopoulos, D. (2022). Evaluating the importance of urban green spaces: a spatial analysis of citizens' perceptions in Thessaloniki. *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration*. <https://doi.org/10.1007/s41207-022-00300-y>
- Muneroli, C. C. y Mascaró, J. J. (2010). Arborização urbana: uso de espécies arbóreas nativas na captura do carbono atmosférico. *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*, 5(1), 160-182. <https://doi.org/h4qb>
- Muñoz, M. E. y Vásquez, E. G. (2020). *Estimación del potencial de captación de carbono en los parques urbanos y emisiones de CO₂ vehicular en Cuenca, Ecuador* [Tesis de Grado, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Institucional. <https://bit.ly/3AGHQfU>
- Naciones Unidas. (1992). *Convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático* (FCCC/INFORMAL/84*). Recuperado el 4 de enero de 2022 de <https://bit.ly/3AKAvM7>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2021). *Los bosques y el cambio climático*. Recuperado el 15 de diciembre de 2021 de <https://bit.ly/3yXx8jR>
- Orwa, C., Mutua, A., Kindt, R., Jamnadass, R. y Anthony, S. (2009). *Agroforestry Database: a tree reference and selection guide version 4.0*. World Agroforestry Centre. <https://bit.ly/3PjPa5l>
- Paganová, V. y Vyhnáliková, M. (2018). Pruning urban trees-type and quality according to arborist union standards. *Plants in Urban areas and landscape*, 29-34. <https://doi.org/h4qn>
- Pilozo, M. F. (2017). *Espacios Verdes en la Universidad Eloy Alfaro de Manabí: Importancia Ambiental e Influencia en el Bienestar de las personas* [Tesis de Grado, Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Ecuador]. Repositorio Institucional. <https://bit.ly/3yVJ8RI>
- Raihan, A., Begum, R. A., Mohd, M. N. y Pereira, J. J. (2021). Assessment of carbon stock in forest biomass and emission reduction potential in Malaysia. *Forests*, 12(10), 1294. <https://doi.org/10.3390/f12101294>

- Rojas, M. V., Caraballo, M. A., Álvarez, O. H. y Vivanco, S. (2018). Emisión de dióxido de carbono de vehículos automotores en la ciudad de Loja, Ecuador. *Revista CEDAMAZ*, 8(1), 23-29. <https://bit.ly/3uEGE8Z>
- Sharma, R., Pradhan, L., Kumari, M. y Bhattacharya, P. (2021). Assessment of carbon sequestration potential of tree species in Amity University Campus Noida. *Environmental Sciences Proceedings*, 3(1), 51. <https://doi.org/10.3390/IECF2020-08075>
- Turner-Skoff, J. B. y Cavender, N. (2019). The benefits of trees for livable and sustainable communities. *Plants, People, Planet*, 1(4), 323–335. <https://doi.org/10.1002/ppp3.39>
- Velasco, E., Roth, M., Norford, L. y Molina, L. T. (2016). Does urban vegetation enhance carbon sequestration? *Landscape and Urban Planning*, 148, 99–107. <https://doi.org/f8gh6g>
- Virido, J., Pittman, J., Bost, J., Bedwell, K., Thomson, V., Stewart, F., Otto, A., Sendall, J., Puciato, H. y Patel, R. (2022). *Pan-European City Rating and Ranking on Urban Mobility for Liveable Cities. Report for the Clean Cities Campaign, hosted by Transport & Environment* [PDF]. <https://bit.ly/3axOcU0>
- Wang, Y., Chang, Q. y Li, X. (2021). Promoting sustainable carbon sequestration of plants in urban greenspace by planting design: A case study in parks of Beijing. *Urban Forestry & Urban Greening*, 64, 127291. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127291>
- Xie, Ch. (2018). Tree diversity in urban parks of Dublin, Ireland. *Fresenius Environmental Bulletin*, 27(12A), 8695-8708. <https://bit.ly/3OpcGgg>
- Zucchetti, A., Hartmann, N., Alcantara, T., Gonzales, P., Cánepa, M. y Gutierrez, C. (2020). *Infraestructura verde y soluciones basadas en la naturaleza para la adaptación al cambio climático. Prácticas inspiradoras en ciudades de Perú, Chile y Argentina*. Plataforma MiCiudad, Red AdaptChile y ClikHub. <https://bit.ly/3zoFzF7>

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a los estudiantes practicantes de la carrera de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí por su apoyo técnico para el registro de la información en campo.