

# UCUENCA

## Universidad de Cuenca

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Carrera de Ingeniería Agronómica

### **Evaluación de diversidad, captura de carbono y material particulado de las especies forestales ornamentales en la zona urbana de Gualaceo**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo


#### **Autores:**

Christian Israel Chacón Molina

María Augusta Méndez Timbe

#### **Director:**

Pedro René Zea Dávila

ORCID:  0000-0002-2225-7881

**Cuenca, Ecuador**

2023-07-25

## Resumen

La vegetación en las zonas urbanas es de suma importancia debido a los servicios ecosistémicos que brindan, entre ellos, el almacenamiento de carbono y la intercepción de material particulado provenientes de los diferentes procesos antropogénicos en las ciudades. En la ciudad de Gualaceo no se han realizado estudios sobre estos contaminantes capturados por las especies forestales ornamentales; es por ello, que nuestro objetivo fue determinar la diversidad de especies, la cantidad de carbono aéreo y el material particulado capturado. Se estudiaron 3 parques de la zona urbana: parque del Niño, Simón Bolívar y 10 de Agosto y el biocorredor del río Santa Bárbara. Se establecieron parcelas acordes al área muestral de cada sitio, se identificó la riqueza mediante los diferentes índices de diversidad, para el carbono almacenado se usaron ecuaciones alométricas y el material particulado por lavado foliar. Posteriormente, se realizaron análisis estadísticos y correlaciones para determinar si existe relación entre las variables. Se obtuvo un total de 209 individuos de los cuales corresponden a 20 especies; presentaron significancia las especies *Salix humbolditiana* (11896,7 gC/planta) y *Jacaranda mimosifolia* (7972,63 gC/planta) en la captura de carbono, para el material particulado fueron las especies *Hibiscus rosa sinensis* (18,23 g/KgMS) y *Eriobotrya japonica* (25,39 g/KgMS) las que presentaron significancia. Las correlaciones indicaron una relación lineal positiva entre la variable carbono con DAP ( $k=0,82$ ;  $p=0,0007$ ) y altura ( $k=0,67$ ;  $p=0,0054$ ), y una relación lineal negativa entre el material particulado con la altura ( $k=-0,445$ ;  $p=0,0663$ ).

*Palabras clave:* carbono, materias suspendidas, diversidad, zonas urbanas

### Abstract

Urban vegetation is of utmost importance as it provides ecosystem services such as carbon storage and removal of particulate matter from various anthropogenic processes in cities. In Gualaceo City, no studies have been conducted on of these pollutants captured by ornamental forest species. Our objective was therefore to determine the biodiversity, the amount of airborne carbon and the fine dust particles captured. His three parks in urban areas were investigated Parque del Niño, Simon Bolivar, 10 de Agosto, the biological corridor of the Santa Barbara River. Plots were plotted according to sample area at each site, abundance was identified using different diversity indices, and allometric equations were used for stored carbon and particle mass from leaf washing. Statistical analyzes and correlations were then performed to determine whether there was an association between variables. A total of 209 individuals were obtained, corresponding to 20 species. *Salix humboldtiana* (11896,7 gC/plant) and *Jacaranda mimosifolia* (7972,63 gC/plant) were significant in carbon sequestration. *Hibiscus rosa sinensis* (18,23 g/KgMS) and *Eriobotrya japonica* (25,39 g/KgMS) were significant in particulate matter. The correlations are positive linear relationships between carbon variables and DAP ( $k=0,82$ ;  $p=0,0007$ ) and altitude ( $k=0,67$ ;  $p=0,0054$ ) and negative linear relationships between particulate matter and altitude ( $k=-0,445$ ;  $p=0,0663$ ).

*Keywords:* carbon, suspended particulate matter, diversity, urban areas

## Índice de contenido

Introducción .....	10
1. Objetivos.....	12
1.1. Objetivo General.....	12
1.2. Objetivos específicos.....	12
2. Pregunta de investigación.....	13
3. Revisión bibliográfica .....	14
3.1. Diversidad de especies.....	14
3.2. Captura de carbono.....	14
3.3. Material particulado .....	15
3.4. Estudios realizados .....	17
4. Materiales y métodos.....	19
4.1. Área de estudio .....	19
4.2. Materiales.....	19
4.2.1. Materiales de campo.....	19
4.2.2. Materiales de oficina .....	20
4.2.3. Materiales de laboratorio.....	20
4.2.4. Material biológico .....	20
4.3. Métodos.....	20
4.3.1. Metodología para el objetivo específico uno: “Identificar la riqueza y diversidad florística en los parques y el biocorredor del río Santa Bárbara de la zona urbana de Gualaceo” .....	20
4.3.2. Metodología para el objetivo específico dos: “Estimar la cantidad de carbono almacenado existente en las diferentes especies forestales ornamentales” .....	24
4.3.3. Metodología para el objetivo específico tres: “Estimar la cantidad de material particulado interceptado por las hojas de las diferentes especies evaluadas” .....	25
4.4. Análisis de datos .....	25
4.4.1. Identificar la riqueza y diversidad florística en los parques y el biocorredor del río Santa Bárbara de la zona urbana de Gualaceo .....	25

4.4.2. Estimar la cantidad de carbono almacenado existente en las diferentes especies forestales ornamentales.....	26
4.4.3. Estimar la cantidad de material particulado interceptado por las hojas de las diferentes especies evaluadas.....	26
4.4.4. Análisis de correlación.....	26
5. Resultados.....	27
5.1. Identificar la riqueza y diversidad florística en los parques y el biocorredor del río Santa Bárbara de la zona urbana de Gualaceo.....	27
5.2. Estimar la cantidad de carbono almacenado existente en las diferentes especies forestales ornamentales.....	32
5.3. Estimar la cantidad de material particulado interceptado por las hojas de las diferentes especies evaluadas.....	33
5.4. Análisis de correlación.....	35
6. Discusión.....	38
6.1. Identificar la riqueza y diversidad florística en los parques y el biocorredor del río Santa Bárbara de la zona urbana de Gualaceo.....	38
6.2. Estimar la cantidad de carbono almacenado existente en las diferentes especies forestales ornamentales.....	39
6.3. Estimar la cantidad de material particulado interceptado por las hojas de las diferentes especies evaluadas.....	40
6.4. Análisis de correlaciones.....	41
Conclusiones.....	43
Recomendaciones.....	45
Referencias.....	46
Anexos.....	54

## Índice de figuras

Figura 1. Ubicación de los sitios de muestreo .....	19
Figura 2. Puntos de muestreo en el parque 10 de Agosto.....	21
Figura 3. Puntos de muestreo en el parque Simón Bolívar .....	21
Figura 4. Puntos de muestreo en el parque del Niño .....	21
Figura 5. Puntos de muestreo en el biocorredor del río Santa Bárbara, parcelas al inicio de la zona urbana (a), parcelas en la mitad de la zona urbana (b) y parcelas al final de la zona urbana (c) .....	22
Figura 6. Especies forestales ornamentales encontradas en el río Santa Bárbara.....	28
Figura 7. Especies forestales ornamentales encontradas en el parque 10 de Agosto .....	29
Figura 8. Especies forestales ornamentales encontradas en el parque Simón Bolívar.....	30
Figura 9. Especies forestales ornamentales encontradas en el parque del Niño.....	30
Figura 10. Comparación a través de las medianas entre especies.....	33
Figura 11. Comparación a través de las medianas del material particulado interceptado entre las especies .....	35
Figura 12. Correlación entre Carbono frente a DAP y Atura.....	36
Figura 13. Correlación entre Material Particulado frente a Altura .....	37

## Índice de tablas

Tabla 1. Área de los parques en la zona urbana de Gualaceo .....	20
Tabla 2. Metros lineales del biocorredor del río Santa Bárbara .....	22
Tabla 3. Códigos para las diferentes especies evaluadas .....	27
Tabla 4. Familias obtenidas en los sitios estudiados .....	28
Tabla 5. Índices de Shannon y de Simpson en los 4 sitios evaluados .....	31
Tabla 6. Índices de Jaccard en los 4 sitios evaluados .....	31
Tabla 7. Test de Kruskal Wallis con respecto al almacenamiento del carbono .....	32
Tabla 8. Tabla del Test de Kruskal Wallis y comparación del material particulado interceptado .....	34

## Agradecimientos

Queremos expresar nuestro agradecimiento imperecedero a la Universidad de Cuenca, a todo el personal docente y administrativo que contribuyeron a nuestra formación profesional, brindándonos no solo sus conocimientos y experiencias, sino también valiosos consejos que han enriquecido nuestra vida académica y personal a lo largo de estos cinco años.

Queremos dejar constancia y agradecimiento a nuestro director del proyecto Ing. Pedro Zea Dávila por apoyarnos en todo momento y brindarnos las herramientas necesarias para la consecución de este trabajo. Al Ing. Oswaldo Jadán Maza por compartir sus conocimientos en la ejecución de nuestro proyecto. Al municipio de Gualaceo “el Jardín Azuayo” por permitirnos realizar las investigaciones en sus áreas verdes, al Ing. Pablo Castillo Peñaherrera por facilitarnos el cumplimiento de nuestra investigación.

Al Ing. Orlando Chacón Molina y Lcdo. Julio Chacón Molina, por haber sido una gran fuente de inspiración y compartirnos sus enseñanzas.

A nuestros familiares quienes fueron partícipes en cada proceso, apoyándonos y entregando lo mejor para que nosotros pudiéramos alcanzar y finalizar esta etapa.



### Dedicatorias

Hace cinco años me propuse una nueva meta la cual causaba gran intriga acerca de los desafíos que podrían presentarse en el trayecto. Sin embargo, estaba dispuesto a enfrentar cada obstáculo y superar cualquier adversidad. A medida que el tiempo fue avanzando, me di cuenta de lo fundamental que era el apoyo de todas aquellas personas que me acompañaban en mi recorrido, quienes compartían mi ilusión de obtener el título de ingeniero agrónomo. Por ello, dedico mi trabajo de titulación a aquellos que han sido mis pilares en todo este proceso. A mis padres Celio y Aurora, quienes a través de su comprensión, apoyo y valentía fueron esenciales tanto en los mejores como en los momentos más difíciles de mi carrera. También, a nuestro director del proyecto de titulación, Ing. Pedro Zea Dávila, quien nos guio en cada uno de los numerosos desafíos que se presentaron durante el desarrollo de nuestro trabajo. Por último, a mi compañera María Augusta Méndez, quien demostró su apoyo incondicional, así como un gran compromiso a lo largo de todo el proceso.

Christian Chacón Molina

Dedico este trabajo, primeramente, a Dios por ser mi guía y darme salud; a mis padres, hermanos, sobrinos y a mi abuelito Daniel por ser mi fuerza y brindarme su amor incondicional para perseguir mis sueños. También, a mis queridos familiares, sé que estarán orgullosos de mí, aunque no estén físicamente. A nuestro tutor Ing. Pedro Zea Dávila por su gran apoyo y motivación en cada etapa de este proyecto, al Ing. Oswaldo Jadán Maza por brindar su asesoría y conocimientos. Finalmente, quiero dedicar a mi compañero Christian por su confianza y paciencia al acompañarme en este trayecto, y a todos quienes estuvieron en este grandioso proceso.

“La vida es una serie de etapas interminables, donde cada etapa posee su propia belleza y un gran significado. Desde que somos niños hasta nuestra vejez, nos enseña algo nuevo y define nuestra sabiduría y conocimiento en base al mundo que nos rodea”

María Augusta Méndez

## Introducción

En Ecuador, las tasas de contaminación no son tan alarmantes a comparación de otros países en Sudamérica, pero se prevé el incremento de las mismas si no se realizan preventivamente buenas prácticas de manejo, protección y concientización (Pasquali, 2019). Una recomendación de Naciones Unidas (2020), en el planteamiento del Objetivo 11 en el documento Objetivos de Desarrollo Sostenible es lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles, para ello, se establece la necesidad de mantener y mejorar la planificación y gestión sostenible de los asentamientos humanos, con el propósito de proteger el patrimonio cultural y natural, para reducir el impacto ambiental negativo de las ciudades. Asimismo, se busca proporcionar acceso a zonas verdes y espacios públicos seguros. Para prevenir un riesgo en la salud humana, el impacto de la contaminación atmosférica debería ser un tema relevante e importante tanto para los encargados de la protección del medio ambiente, autoridades de la ciudad y del país e inclusive a los propios ciudadanos (Rubio, 2019). En las zonas urbanas son específicamente los lugares en los cuales se presentan mayores acumulaciones de los contaminantes en comparación de las zonas rurales. Los árboles son las principales especies encargadas de filtrar y absorber los contaminantes, ya que son acumulados en sus tejidos (Dalmasso et al., 1997). El incremento de la población en las zonas urbanas ha perjudicado de manera drástica, debido a la destrucción de ecosistemas nativos, creando ecosistemas antropogénicos. Es por eso, la importancia de los parques urbanos los cuales se encargan de albergar una amplia diversidad de especies (Cordero et al., 2015).

El dióxido de carbono es uno de los principales contaminantes procedente de los diferentes procesos que el ser humano ha realizado con el fin de adaptarse al entorno, entre ellos se encuentra la combustión de combustibles fósiles como el petróleo (Sarango, 2018), lo cual genera impactos ambientales, por ello la vegetación incorporada en zonas urbanas juega un papel importante debido a su capacidad de almacenar carbono (Pava, 2020). Este contaminante puede ser intercambiado desde la atmósfera hacia la biomasa o al suelo mediante la fotosíntesis y respiración (Brown, 1997; Foley et al., 2003, como se citó en Cuenca, et al., 2014).

El material particulado se encuentra conformado por varios contaminantes de suma importancia a nivel mundial los cuales son generados y provocados por la contaminación, en mayor parte, por los vehículos de las ciudades. En el área urbana se puede clasificar y encontrar varios tipos de estos contaminantes (Maher et al., 2013; Dalmasso et al., 1997). En

el Ecuador se ha presentado el mayor uso de medios de transporte obteniendo un crecimiento del 39% posterior a la pandemia entre los años 2020-2021 (Baldeón, 2021).

Según SENPLADES, (2009) menciona conceptos importantes para promover y cuidar el medio ambiente en las zonas rurales y urbanas. Actualmente, el plan nacional de desarrollo del periodo actual 2021 - 2025; detallan el ordenamiento territorial en armonía con la preservación del ambiente, aplicando un manejo sostenible de los recursos naturales. Con el fin de afianzar el derecho de cada ecuatoriano a vivir en un ambiente sano (CEPAL, 2021). Las áreas verdes en las ciudades son esenciales para mantener condiciones óptimas y mejorar la calidad de vida de sus pobladores. Aunque representan una pequeña parte de la superficie global, se debería mantener un inventario detallado de las zonas urbanas para poder gestionarlas adecuadamente, según un estudio realizado en Georgia por Alpaidze y Salukvadze (2023). Estos estudios son de suma importancia para poder identificar los cambios y deficiencias en las planificaciones urbanas y así poder mejorar el bienestar de los habitantes en sus comportamientos y actitudes, manteniendo un desarrollo urbano sostenible según Zhu et al. (2019).

Los resultados que obtendremos en la presente investigación buscan contribuir para un mayor cuidado del medio ambiente, considerando las especies sembradas en la zona urbana de Gualaceo y su capacidad de almacenar carbono y material particulado; por lo cual aportará a diferentes entidades con interés en la protección de áreas verdes urbanas de Gualaceo e incluso del país, así como para futuras investigaciones.

## 1. Objetivos

### 1.1. Objetivo General

Evaluar la diversidad, captura de carbono y material particulado de las especies forestales ornamentales en la zona urbana de Gualaceo.

### 1.2. Objetivos específicos

- Identificar la riqueza y diversidad florística en los parques y el biocorredor del río Santa Bárbara de la zona urbana de Gualaceo.
- Estimar la cantidad de carbono almacenado existente en las diferentes especies forestales ornamentales.
- Estimar la cantidad de material particulado interceptado por las hojas de las diferentes especies evaluadas.

## 2. Pregunta de investigación

Bajo la diversidad de especies forestales ornamentales encontradas en la zona urbana de Gualaceo. ¿Cuáles son las especies que almacenan mayor cantidad de carbono y material particulado?

### 3. Revisión bibliográfica

#### 3.1. Diversidad de especies

La diversidad se considera como la riqueza presente en un área específica; las áreas verdes públicas con amplia diversidad y riqueza cumplen con varias funciones, entre ellas, la reducción de contaminación atmosférica y refugio de distintas especies pertenecientes a la fauna ecológica (Saavedra et al., 2019). De acuerdo con estudios, se ha demostrado la importancia de la presencia de las variedades de especies forestales en las áreas verdes, las asociaciones entre especies pueden influir en la capacidad de recepción de carbono. Se ha demostrado que, en mayor variedad de especies y edades se presentarán mayores reservas de carbono debido a que existirá un desarrollo y crecimiento variado entre las especies dentro de un área. Otro punto de vista importante es el cuidado que se brinde a los sistemas forestales como prácticas culturales de manejo y cuidado que mejorarán las condiciones de captación de carbono (Concha et al., 2007).

Según un estudio de Muñoz y Vásquez (2020), realizado en la provincia del Azuay en los diferentes parques pertenecientes a la ciudad de Cuenca, se manifestó una alta presencia de *Eucaliptus sp* del 39,2% y *Salix humboldtiana* con un 11,79%, siendo las especies con mayor predominancia y más representativas del lugar de estudio. Además, se evaluó una riqueza en el área muestreada de 3953 árboles y una diversidad de 49 especies diferentes, pertenecientes a 29 familias.

#### 3.2. Captura de carbono

Las plantas tienen la capacidad de captar el carbono atmosférico. A medida que los árboles jóvenes van envejeciendo almacenan mayores cantidades de carbono debido al incremento de su biomasa (Amoatey y Sulaiman, 2019); pueden almacenar tanto en la biomasa aérea y bajo el suelo, del cual cabe destacar que en el suelo orgánico presenta mayores cantidades de carbono seguido por la biomasa radicular y aérea (Alvis et al., 2021). La biomasa aérea corresponde a los tallos y hojas de los árboles, es considerada importante para contrarrestar el cambio climático formando parte de los servicios ecosistémicos, pero puede variar durante los años por las actividades antropogénicas (Pardo et al., 2021).

Es importante calcular el carbono almacenado para conocer el rendimiento y crecimiento de las especies arbóreas (Tovar et al., 2020). En la literatura se menciona dos métodos para poder estimar el carbono capturado en los árboles, los cuales son: 1) Recolección de datos a

través del método destructivo, 2) Los modelos alométricos de biomasa de la cual requiere de datos biométricos importantes para su estimación, valores independientes y dependientes como: diámetro a la altura de pecho (DAP) a 1,30 metros, biomasa aérea total, altura total (Ht) y altura comercial (Hc) (Cuenca et al., 2014); para poder usar la ecuación adecuada se debe reconocer y diferenciar a la vegetación que se encuentre presente en el área a evaluar y la altura total (Chave et al., 2014). Según Brown (1997), citado por Chave et al. (2014) menciona que para usar los modelos alométricos se debe identificar a qué categoría pertenece el área a evaluar, pudiendo ser estos: bosque seco, húmedo y con mayor humedad. De acuerdo con Chave et al. (2014), en su artículo “Modelos alométricos de biomasa de árboles de *Guazuma crinita* Mart en plantaciones forestales de Ucayali, Perú” menciona que el método alométrico ofrece procesos accesibles y fáciles para la estimación de carbono; además, no requiere de muchos costos y se obtendrán datos idóneos.

Amoatey y Sulaiman (2019) concluyen sobre la importancia de implementar los modelos alométricos, debido a que poseen un gran mérito en comparación de los métodos destructivos, ya que permiten utilizar datos históricos de estudios previamente realizados. Este método se ha implementado en la mayoría de los países, pero el único inconveniente son las ecuaciones requeridas para la vegetación presente en el área urbana, lo cual podría afectar en los resultados esperados.

### 3.3. Material particulado

El material particulado (MP) son partículas de los contaminantes que se encuentran en el aire, pueden incluir: óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, dióxido de azufre, hidrocarburos, partículas de tierra suspendidas y ozono superficial; llegando a causar efectos negativos en la salud humana, daños en los procesos fotosintéticos de las plantas y la destrucción de fachadas de las infraestructuras (Puliafito et al., 1995; Dalmaso et al., 1997).

Según Díaz y Páez (2006), para identificar correctamente las partículas presentes en el medio ambiente se requiere de un proceso complejo y existen diferentes criterios para determinar su origen. Entre ellos, los autores mencionan los siguientes:

- Fracciones insolubles: Son partículas primarias en las que prevalece el carbono, así como cenizas no combustibles derivadas de lubricantes.
- Sulfatos: El sulfato puede provenir del motor como anhídrido sulfuroso (SO<sub>2</sub>), al igual que el anhídrido sulfúrico (SO<sub>3</sub>), pero este en menores cantidades. El SO<sub>2</sub> puede

oxidarse en el medio ambiente y reaccionar con otros compuestos, formando cristales de sulfato de amonio ( $\text{SO}_4\text{-}2$ ). Además, en el caso del  $\text{SO}_3$  al juntarse con  $\text{H}_2\text{O}$  provoca un aumento de masa.

- Fracción soluble: Se encuentran compuestos orgánicos de alto peso molecular, como hidrocarburos no combustionados (alcalinos y aromáticos), hidrocarburos aromáticos policíclicos (naftaleno, fluoreno, acenaftaleno, circeno, acenafticeno, entre otros) los cuales pueden producir mutaciones en células, finalmente, los hidrocarburos oxigenados (ácidos orgánicos, ésteres, éteres).
- Elementos livianos: Pueden provenir de procesos naturales, como aluminio, silicio, potasio, calcio, entre otros.

Estos contaminantes pueden encontrarse en estado sólido o líquido, con un tamaño de partícula de 0.005 a 100  $\mu\text{m}$  de diámetro (Sborato et al., 2007). Las partículas con un tamaño mayor a 5  $\mu\text{m}$  pueden ser absorbidas con mayor facilidad, a diferencia de las micropartículas (SCFC, 1990). Las partículas menores a 10  $\mu\text{m}$ , en especial el material fino de 2,5  $\mu\text{m}$  son generadas principalmente por la combustión de materiales fósiles, se lo encuentra en mayor medida en las zonas urbanas siendo los vehículos los principales emisores de estos contaminantes. Estos pueden repercutir en la salud humana debido a su fácil ingreso en el sistema respiratorio, por lo tanto, es considerada una de las principales causas de las diferentes enfermedades respiratorias (Martínez et al., 2011; Abbas et al., 2017).

Según Pequeño et al. (2019) se recomienda la aplicación de la metodología propuesta por Dalmasso et al. (1997) la cual se basa en la obtención de muestras de hojas a una altura variable entre 2,5 a 3,5 metros debido a su accesibilidad; por último, se debe calcular el peso del material particulado presente en las hojas. Los datos a obtener se presentan en unidades de gramos de material particulado por kilogramo de materia seca de las hojas.

El follaje de las diferentes especies es de gran importancia para receptar este material que se encuentra suspendido en el aire. La capacidad de cada especie depende de las características morfo - anatómicas de las hojas, siendo las más importantes; la superficie a la cual se encuentra expuesta y el grado de pilosidad. Los factores morfológicos que mayormente condicionan, son: ancho, profundidad de los surcos que presentan las hojas. Además, la presencia de ceras brinda la facilidad de adherencia del material. En un estudio realizado por Redondo et al. (2021) indican que la especie que almacenó mayor cantidad de MP fue *Thuja occidentalis*, pero todas receptaron buenas cantidades. En otro estudio



realizado por Dalmaso et al. (1997) el cual se contó con especies diferentes al estudio de (Redondo et al., 2021), concluyó que las especies *Acacia caven*, *Geoffroea decorticans*, *Eucaliptus viminalis* y *Prosopis nigra* receptaron cantidades superiores de PM.

Según Lam et al. (2005), los parques urbanos tienen un rol fundamental en la captura de material particulado, ya que, mediante la evaluación de calidad de aire en distintos escenarios, se encontró que dentro de parques los materiales pesados son ligeramente menores debido a la diversidad y riqueza de especies que se encuentran dentro de este lugar. Por lo que el autor afirma que un parque correctamente distribuido, diseñado y administrado, será de gran utilidad específicamente para ciudades con gran densidad poblacional.

### 3.4. Estudios realizados

De acuerdo con Concha, Alegre y Pocomucha (2007) mencionan la importancia sobre la diversidad, asociación y edad de los sistemas forestales, ya que estas variables pueden influir en la acumulación de carbono. De acuerdo con los resultados observados en su investigación, la biomasa aérea juega un rol sumamente importante en la captura del carbono mejorando así las condiciones climáticas. Así mismo en otro estudio, se pudo comprobar que los sistemas forestales capturan más carbono en comparación de otros, y que el alterar o disminuir la biomasa puede afectar a los valores del almacenamiento de carbono; concluyendo que, a mayor biomasa habrá mayor captura (Carvajal y Andrade, 2020).

En un estudio propuesto por Amoatey y Sulaiman (2019), se destaca la importancia de la diversidad arbórea para mantener las reservas de carbono, especialmente en las zonas urbanas donde se acumulan millones de toneladas de carbono. Se recomienda la implementación de especies autóctonas que tienen mayor capacidad de producir biomasa debido a su gran adaptabilidad, lo que permite una mejor captación de carbono y contribuye a la mitigación del cambio climático. Es importante mencionar que las diferentes edades, densidades y variaciones en el DAP (diámetro a la altura del pecho) de los árboles pueden influir en el almacenamiento de carbono, lo que sugiere que se deben tomar medidas para una adecuada planificación y gestión de la diversidad arbórea, como parte de una estrategia integral para enfrentar el cambio climático.

En los estudios realizados por Egas et al. (2018), Redondo et al. (2021), afirman que existen especies las cuales almacenan mayor cantidad de material particulado que otras, esto debido a sus características micro morfológicas de las hojas, lo cual condiciona directamente en la cantidad de contaminantes que puede ser albergado. Según Lam et al. (2005) afirma que la

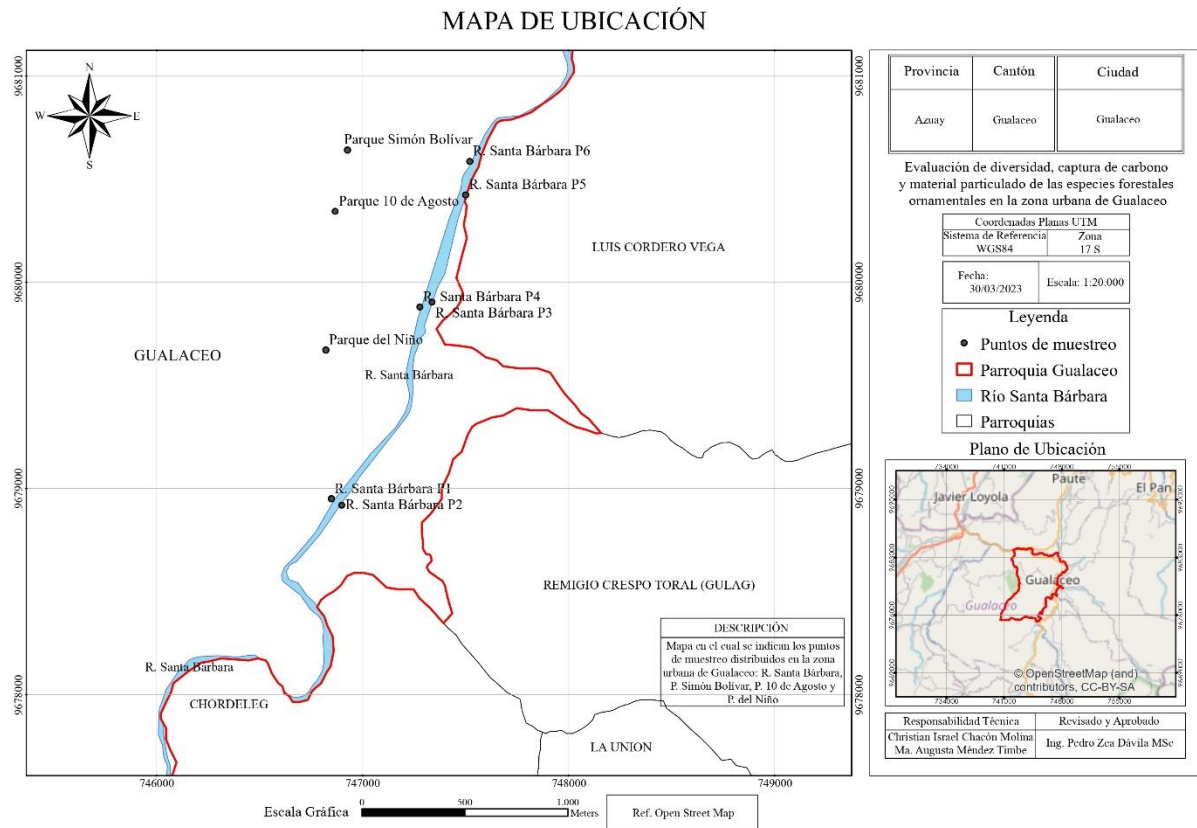
diversidad de especies en la zona de estudio proporciona una diversa gama de micromorfología de las hojas presentes, por lo cual existirán mayores mecanismos de captura de partículas, esta información concuerda con el trabajo de Egas et al. (2018) quienes concluyen que, una amplia variedad de especies puede proporcionar adecuadas características morfo-anatómicas de las hojas, lo cual incrementa la capacidad de retener partículas magnéticas de fuentes móviles y partículas de diversos tamaños. Pero puede ser más eficiente el sistema si las especies que se han incorporado han sido seleccionadas con respecto a sus características.

Finalmente, Saavedra et al. (2019) destacan la importancia de mantener y proporcionar diversidad de especies arbóreas en áreas urbanas, manteniendo una distribución heterogénea de géneros y especies. Su estudio evidenció tasas bajas de riqueza en las áreas examinadas debido a la presencia de plagas y enfermedades que afectaron a los árboles. Por lo tanto, se debe enfocar en aspectos importantes como la adaptabilidad, el manejo y el control, las condiciones edafo-climáticas y la ubicación geográfica para ayudar a futuros proyectos de mejora en las zonas urbanas. También es importante considerar diferentes alturas, diámetros, etc. de los árboles para mejorar los servicios ecosistémicos, especialmente el almacenamiento de carbono.

## 4. Materiales y métodos

### 4.1. Área de estudio

El estudio se realizó en tres parques urbanos y en el biocorredor del río Santa Bárbara de Gualaceo, provincia del Azuay. Se estratificaron los lugares de estudio en dos grupos: los parques urbanos y el biocorredor del río Santa Bárbara (Figura 1).



**Figura 1.** Ubicación de los sitios de muestreo

### 4.2. Materiales

#### 4.2.1. Materiales de campo

Clinómetro, tijera de podar, podadora telescópica, cinta diamétrica, cinta métrica, placas, clavos, martillo, prensa, papel periódico, GPS, fundas de papel, cámara, piola, estacas y cuaderno de campo.

#### 4.2.2. Materiales de oficina

Computadora, software (Excel, R studio, Infostat, Past), cartulina plegable, agujón, hilo de cometa, cinta de papel de goma, etiquetas y papel bon.

#### 4.2.3. Materiales de laboratorio

Embudo, agua destilada, vaso de precipitación, soporte de embudo, pincel, etiquetas y bandejas de aluminio.

#### 4.2.4. Material biológico

Especies forestales ornamentales.

### 4.3. Métodos

**4.3.1. Metodología para el objetivo específico uno:** “Identificar la riqueza y diversidad florística en los parques y el biocorredor del río Santa Bárbara de la zona urbana de Gualaceo”

Para el primer objetivo se ubicaron parcelas en los parques urbanos, donde se obtuvo un área muestral de 324 m<sup>2</sup> con un total de cuatro parcelas de 81 m<sup>2</sup> en cada una (Tabla 1); la distribución de las parcelas en los parques se enfatizó en los lugares donde se representaron mayor dominancia de especies arbóreas debido a que no existió uniformidad de la siembra de los árboles en los sitios a evaluar (Figuras 2, 3, 4).

**Tabla 1.** Área de los parques en la zona urbana de Gualaceo

Parques	Área (m <sup>2</sup> )	Área muestral metros radiales	Número de parcelas
10 de Agosto	1380	324	4
Del Niño	1250	324	4
Simón Bolívar	1050	324	4



**Figura 2.** *Puntos de muestreo en el parque 10 de Agosto*



**Figura 3.** *Puntos de muestreo en el parque Simón Bolívar*



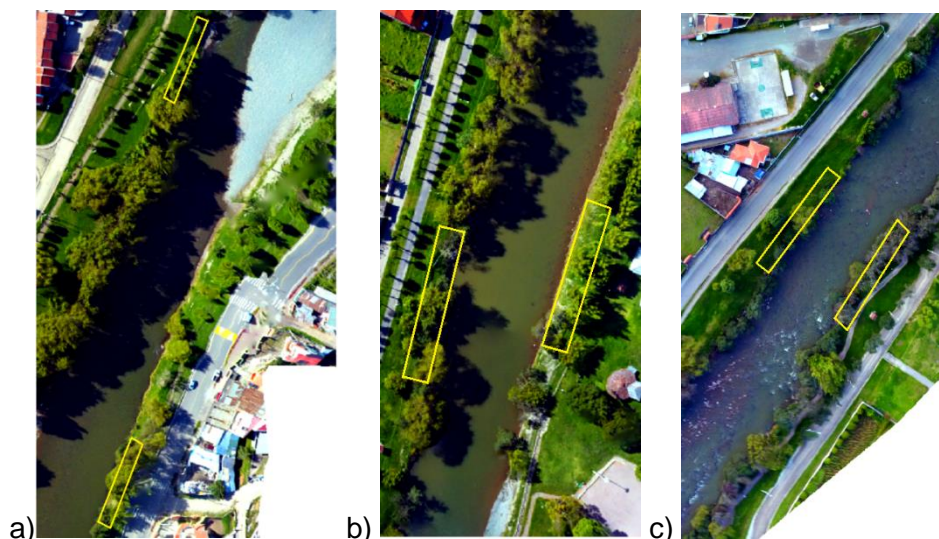
**Figura 4.** *Puntos de muestreo en el parque del Niño*



Para el biocorredor del río Santa Bárbara se aplicaron parcelas de 60 metros por 10 metros desde la orilla (Tabla 2). Se realizaron los levantamientos en los dos lados del río correspondiendo a tres parcelas en la avenida de los Cañaverales y tres parcelas para la calle Ignacio Jaramillo. Se colocaron dos parcelas en los dos lados del río, en el inicio, en el centro y en el final de la zona urbana de la ciudad de Gualaceo (Figura 5).

**Tabla 2.** *Metros lineales del biocorredor del río Santa Bárbara*

Zona	Longitud (metros lineales)	Muestra (Metros lineales)	Número de parcelas
Biocorredor del río Santa Bárbara	3400	360	6



**Figura 5.** *Puntos de muestreo en el biocorredor del río Santa Bárbara, parcelas al inicio de la zona urbana (a), parcelas en la mitad de la zona urbana (b) y parcelas al final de la zona urbana (c)*

Se solicitó permiso al municipio de Gualaceo para el levantamiento de datos, describiendo el proceso del marcado de los árboles mediante el uso de placas, sin causar daños en los mismos.

A continuación, se tomaron las muestras de los ejemplares mediante un proceso de prensado, toma de fotografías y etiquetado para la elaboración del herbario, con el empleo de materiales adecuados para su identificación. Dicho procedimiento se realizó con el apoyo del Ing. For.

Oswaldo Jadán docente botánico e investigador de ecología forestal de la Universidad de Cuenca.

Se clasificaron en dos grupos importantes: diversidad alfa la cual cuantifica la riqueza de especies y la diversidad beta para determinar la similitud entre las áreas evaluadas (Medina, 2011). Para ello se calculó a través de los índices de Shannon, Simpson y Jaccard de las Ecuaciones 1, 2 y 3 con los datos obtenidos de las zonas muestreadas.

Primera ecuación: Índice de Shannon para la cuantificación de la diversidad de especies.

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i * \log_2 P_i)$$

Donde:

- H: Índice de Shannon - Wiener
- S: Número de especies
- Pi: Proporción de individuos de la especie i respecto al total de individuos

Segunda ecuación: Índice de Simpson para medir la diversidad de una población.

$$D = \frac{\sum n(n - 1)}{N(N - 1)}$$

Donde:

- D: Índice de Simpson
- N: Número total de individuos de todas las especies
- n: Número total de individuos de una especie

Tercera ecuación: Índice de Jaccard se relaciona con el número de especies.

$$I_j = \frac{c}{a + b - c}$$

Donde:

$I_j$ : Índice de Jaccard

a: Número de especies en la comunidad a

b: Número de especies en la comunidad b

c: Número de especies comunes en ambas comunidades

#### 4.3.2. Metodología para el objetivo específico dos: “Estimar la cantidad de carbono almacenado existente en las diferentes especies forestales ornamentales”

Para medir la biomasa de las especies arbóreas identificadas en el objetivo uno, se midieron en campo las variables de diámetro a la altura de pecho (DAP) y altura, utilizando una cinta diamétrica y un clinómetro. Solo se consideraron los árboles con un diámetro mayor o igual a 6 cm. Una vez obtenido los datos en campo, se calculó la biomasa con la metodología propuesta por Chave et al. (2005); adicionalmente, se utilizó el valor de las densidades de madera mediante bases de datos. Finalmente, el resultado obtenido de la biomasa se multiplicó por el factor de emisión propuesta por Penman et al. (2003).

Cuarta ecuación: Biomasa aérea

$$AGB = 0,0673 \times (dm \times DAP^2 \times a)^{0,976}$$

Donde:

- AGB: Biomasa aérea
- $dm$ : Densidad de madera
- DAP: Diámetro a la altura de pecho
- $a$ : Altura del árbol



Quinta ecuación: carbono aéreo

$$CA = AGB \times 0,47$$

Donde:

- CA: Carbono aéreo
- AGB: Biomasa aérea

**4.3.3. Metodología para el objetivo específico tres:** “Estimar la cantidad de material particulado interceptado por las hojas de las diferentes especies evaluadas”

Para estimar la cantidad de material particulado, se seleccionaron las especies de acuerdo al objetivo mencionado anteriormente. Se utilizó la metodología propuesta por Dalmasso et al. (1997), y se tomaron muestras; esta actividad se realizó el 31 de enero del 2023. Para ello, se extrajeron diez hojas sanas de los árboles identificados, a una altura de 2,5 a 3,5 metros, en todos los puntos cardinales del árbol. Este proceso se realizó cuando no existieron precipitaciones durante un mínimo de 10 días. Las muestras se almacenaron en bolsas de papel y se trasladaron al laboratorio de la facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Cuenca. En el laboratorio, se extrajo el material particulado mediante el lavado con agua destilada y con la ayuda de un pincel. Posteriormente, se pasó por el papel filtro y se secó en la estufa a 70° C por 48 horas. Finalmente, se pesó el material particulado y las hojas secas, obteniendo los resultados en unidades de g/kg de materia seca.

#### 4.4. Análisis de datos

##### 4.4.1. Identificar la riqueza y diversidad florística en los parques y el biocorredor del río Santa Bárbara de la zona urbana de Gualaceo

Se analizó los datos de riqueza y diversidad en el software Excel donde se tomó en cuenta variables como número de individuos, nombre de las especies y los sitios estudiados; cabe mencionar que se empleó el programa Past para comparar con los valores obtenidos en el software Excel.

#### **4.4.2. Estimar la cantidad de carbono almacenado existente en las diferentes especies forestales ornamentales**

Se elaboró una tabla en Excel que contenía las diferentes especies y sus valores de carbono. Se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk a través del software R studio para evaluar la normalidad de los datos. Luego, se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para comparar las medianas y determinar si existía una variación significativa entre las especies. Finalmente, se clasificaron las especies de acuerdo al rango que presentaron. Este procedimiento se realizó utilizando el programa informático Infostat.

#### **4.4.3. Estimar la cantidad de material particulado interceptado por las hojas de las diferentes especies evaluadas**

Se elaboró una tabla en Excel que incluía las distintas especies y sus respectivos valores de material particulado interceptado. Se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk a través del software R studio para comprobar la normalidad de los datos. Posteriormente, se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis en el software Infostat, para determinar si existía alguna variación significativa entre las especies y compararlas en términos de la cantidad de material particulado interceptado.

#### **4.4.4. Análisis de correlación**

Luego de realizar las pruebas de normalidad y homocedasticidad se encontró que los datos no eran normales, por lo que se transformaron mediante el logaritmo base 0. La transformación logarítmica es usada para normalizar datos, posee grandes ventajas como: mantiene la información importante, facilita la interpretación y análisis de los datos (Fornieles, 2013). En el presente estudio solo se usó para analizar las correlación debido a que no existía normalidad en los resultados, por ello se empleó el método de correlación de Pearson, el mismo que nos permite identificar las relaciones entre dos variables cuantitativas en donde sus resultados varían de -1 a 1, mientras más cercanos a 1 presentan una relación lineal positiva, si el valor es 0 no existe una relación entre las dos variables y si son cercanos a -1 habrá una relación lineal negativa, es decir mientras una variable aumenta la otra variable disminuye su valor (Hernández et al., 2018; Fiallos, 2021).

## 5. Resultados

### 5.1. Identificar la riqueza y diversidad florística en los parques y el biocorredor del río Santa Bárbara de la zona urbana de Gualaceo

En los parques y el biocorredor del río Santa Bárbara, se registró la presencia de 20 especies, 12 familias y 209 individuos, con una mayor predominancia de *Alnus acuminata* (39,23%) seguido de *Salix humboldtiana* (27,75%). También, se presentó que el 55% de las especies fueron nativas y el 45% correspondió a especies introducidas.

**Tabla 3.** Códigos para las diferentes especies evaluadas

Nombre común	Nombre científico	Código	Origen
Aliso	<i>Alnus acuminata</i>	Aln_acu	Nativo
Calliandra	<i>Calliandra haematocephala</i>	Call_hae	Introducido
Cepillo	<i>Callistemon lanceolatus</i>	Call_lan	Introducido
Arupo	<i>Chionanthus pubescens</i>	Chi_pub	Nativo
Ciprés	<i>Cupressus macrocarpa</i>	Cup_mac	Introducido
Navajuelo	<i>Delostoma integrifolium</i>	Del_int	Nativo
Níspero	<i>Eriobotrya japonica</i>	Eri_jap	Introducido
Cáñaro	<i>Erythrina edulis</i>	Ery_edu	Nativo
Eugenia	<i>Eugenia biflora</i>	Eug_bif	Introducido
Cucarda	<i>Hibiscus rosa sinensis</i>	Hib_ros	Introducido
Guaba	<i>Inga edulis</i>	Ing_edu	Nativo
Jacaranda	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	Jac_mim	Nativo
Arrayán	<i>Myrcianthes hallii</i>	Myr_hall	Nativo
Adelfa rosa	<i>Nerium oleander</i>	Ner_ole	Introducido
Plátano	<i>Platanus acerifolia</i>	Pla_ace	Introducido
Guabisay	<i>Podocarpus oleifolius</i>	Pod_ole	Nativo
Álamo	<i>Populus alba</i>	Pop_alb	Introducido
Capulí	<i>Prunus serotina</i>	Pru_ser	Nativo
Sauce	<i>Salix humboldtiana</i>	Sal_hum	Nativo
Sauco	<i>Tecoma stans</i>	Tec_sta	Nativo

En base a la Tabla 3 se conocen las diferentes especies encontradas en los cuatros sitios y los códigos utilizados para un mejor análisis de los resultados.

Tabla 4. Familias obtenidas en los sitios estudiados

Familia	N° de individuos	R. Santa Bárbara	P. 10 de Agosto	P. Simón Bolívar	P. del Niño
Apocynaceae	1	0	1	0	0
Betulaceae	82	82	0	0	0
Bignoniaceae	16	1	5	6	4
Cupressaceae	1	0	1	0	0
Fabaceae	11	10	0	1	0
Malvaceae	3	0	1	0	2
Myrtaceae	10	2	4	3	1
Oleaceae	10	0	2	3	5
Platanaceae	2	0	0	0	2
Podocarpaceae	6	6	0	0	0
Rosaceae	8	5	0	1	2
Salicaceae	59	58	0	0	1
<b>Total de individuos</b>	<b>209</b>	<b>164</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>17</b>

De acuerdo con la Tabla 4 se obtuvo un total de 209 individuos, 12 familias, 20 géneros y 20 especies en los cuatro sitios evaluados.

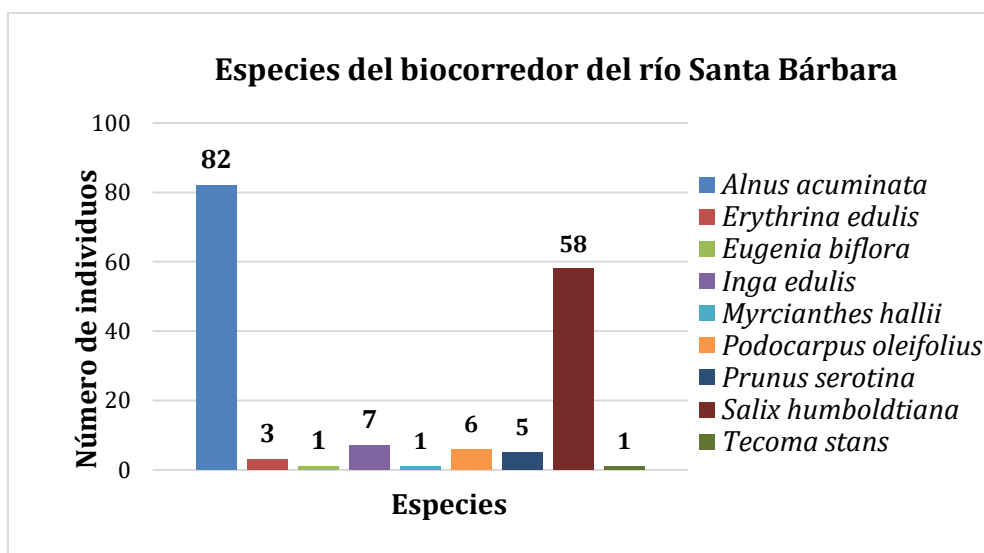
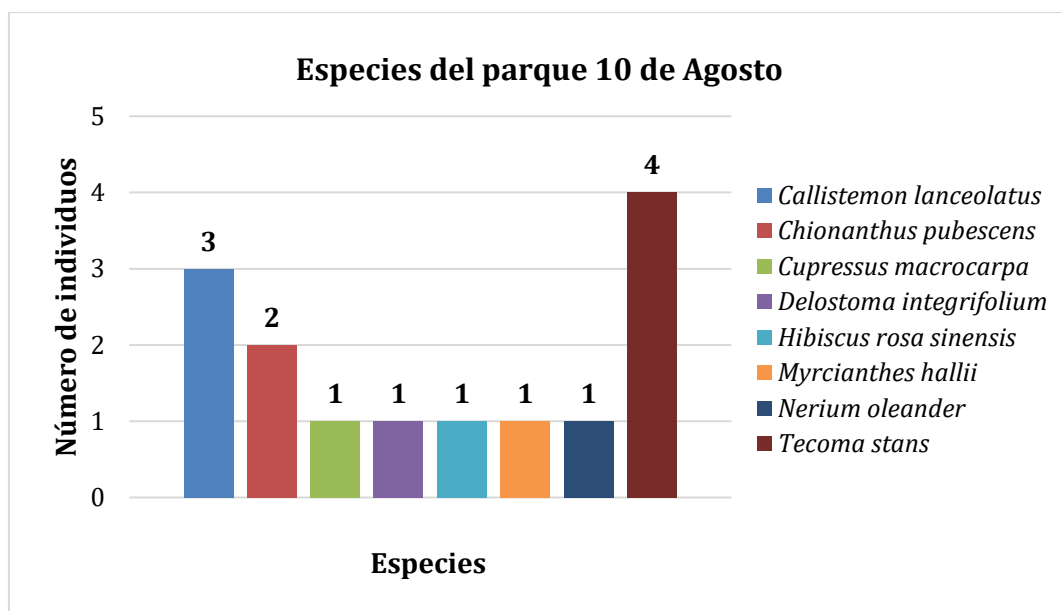


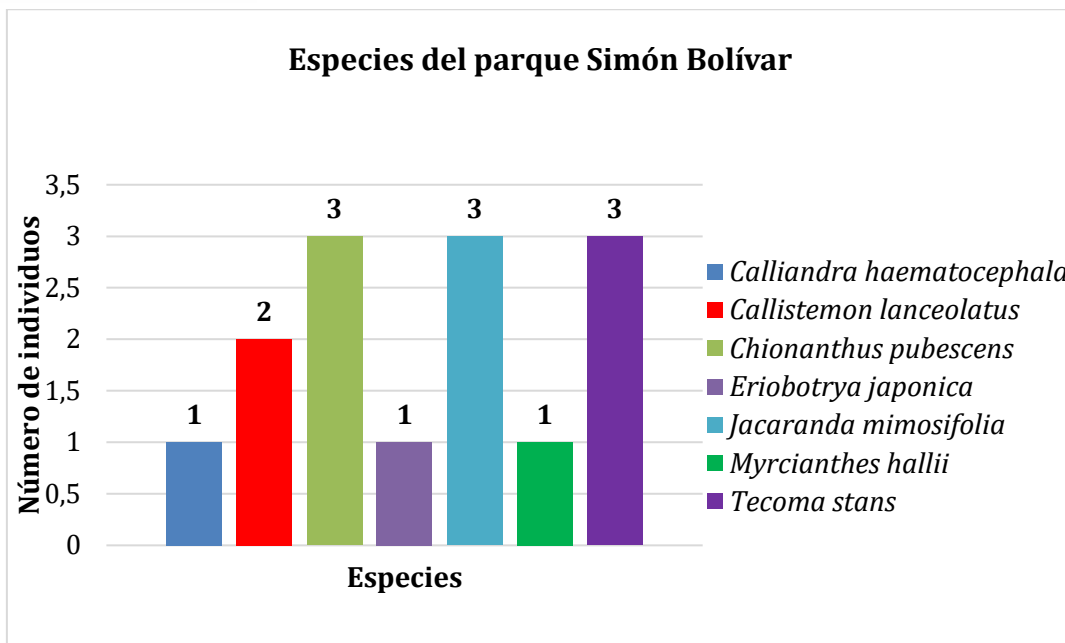
Figura 6. Especies forestales ornamentales encontradas en el río Santa Bárbara

En la Figura 6 se observa que en el río Santa Bárbara existe la predominancia de la especie *Alnus acuminata* “Aliso” (82 individuos), continuamente *Salix humboldtiana* “Sauce” (58 individuos) y un solo individuo de las especies *Eugenia biflora* “Eugenia”, *Myrcianthes hallii* “Arrayán” y *Tecoma stans* “Sauco” cabe mencionar que se evaluaron 164 individuos.



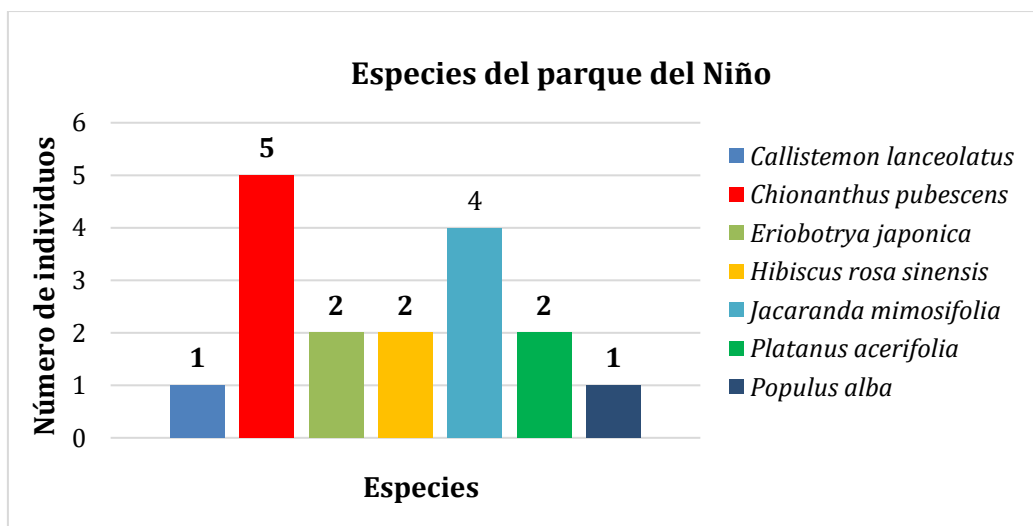
**Figura 7.** Especies forestales ornamentales encontradas en el parque 10 de Agosto

En el parque 10 de Agosto se evaluaron a 14 individuos, en la cual la especie con mayor predominancia fue *Tecoma stans* “Sauco”, pero entre las menos predominantes fueron *Cupressus macrocarpa* “Ciprés”, *Delostoma integrifolium* “Navajuelo”, *Hibiscus rosa sinensis* “Cucarda”, *Myrcianthes hallii* “Arrayán” y *Nerium oleander* “Adelfa rosa” (Figura 7).



**Figura 8.** Especies forestales ornamentales encontradas en el parque Simón Bolívar

En el parque Simón Bolívar se evaluó a 14 individuos donde se observó una igualdad en la predominancia de las especies *Chionanthus pubescens* “Arupo”, *Jacaranda mimosifolia* “Jacaranda” y *Tecoma stans* “Sauco”; de igual manera de las especies *Calliandra haematocephala* “Calliandra” presentó menor predominancia (Figura 8).



**Figura 9.** Especies forestales ornamentales encontradas en el parque del Niño

En el parque del Niño se evaluaron a 17 individuos, encontrando un mayor número de ejemplares de la especie *Chionanthus pubescens* “Arupo”, en cuanto a las especies con

menor predominancia fueron *Callistemon lanceolatus* “Cepillo” y *Populus alba* “Álamo” (Figura 9).

**Tabla 5.** Índices de Shannon y de Simpson en los 4 sitios evaluados

Índices	Río Santa Bárbara	P. 10 de Agosto	P. Simón Bolívar	P. del Niño
Índice de Shannon	1,243	1,909	1,834	1,789
Índice de Simpson	0,38	0,173	0,173	0,19

Se evaluó el índice de Shannon en todos los parques, obteniendo valores menores a 2 en todos ellos, lo que indica una diversidad baja. El parque 10 de Agosto mostró el valor más cercano a 2, lo que refleja una mayor diversidad en comparación con los demás parques. Por otro lado, el índice de Simpson arrojó un valor más alto en el río Santa Bárbara, lo que indica una mayor dominancia de especies y número de individuos. En contraste, los valores cercanos a 0 en los parques 10 de Agosto, Simón Bolívar y del Niño sugieren una menor biodiversidad, tal como se muestra en la Tabla 5.

**Tabla 6.** Índices de Jaccard en los 4 sitios evaluados

Sitios	Índice de Jaccard			
	Río Santa Bárbara	P. 10 de Agosto	P. Simón Bolívar	P. del Niño
R. Santa Bárbara	1	0,133	0,143	0
P. 10 de Agosto	0,133	1	0,364	0,3
P. Simón Bolívar	0,143	0,364	1	0,4
P. del Niño	0	0,25	0,4	1

La Tabla 6 muestra la similitud de presencia de especies en los sitios evaluados. Los resultados indican que los parques del Niño-Simón Bolívar presentan una similitud del 40% (IJ= 0,4), mientras que los parques 10 de Agosto-Simón Bolívar presentan una similitud del 36,4% (IJ= 0,364). Por otro lado, los parques del Niño-río Santa Bárbara no compartieron

especies, lo que resultó en un valor de  $IJ= 0$ , lo que indica que no presentan especies similares.

## 5.2. Estimar la cantidad de carbono almacenado existente en las diferentes especies forestales ornamentales

Al utilizar la prueba de Shapiro-Wilk para analizar la normalidad de los datos de la captura de carbono por especie, se obtuvo un valor de  $p$  igual o menor a 0.0001. Este resultado indica que los datos no siguen una distribución normal y se rechaza la hipótesis nula de normalidad.

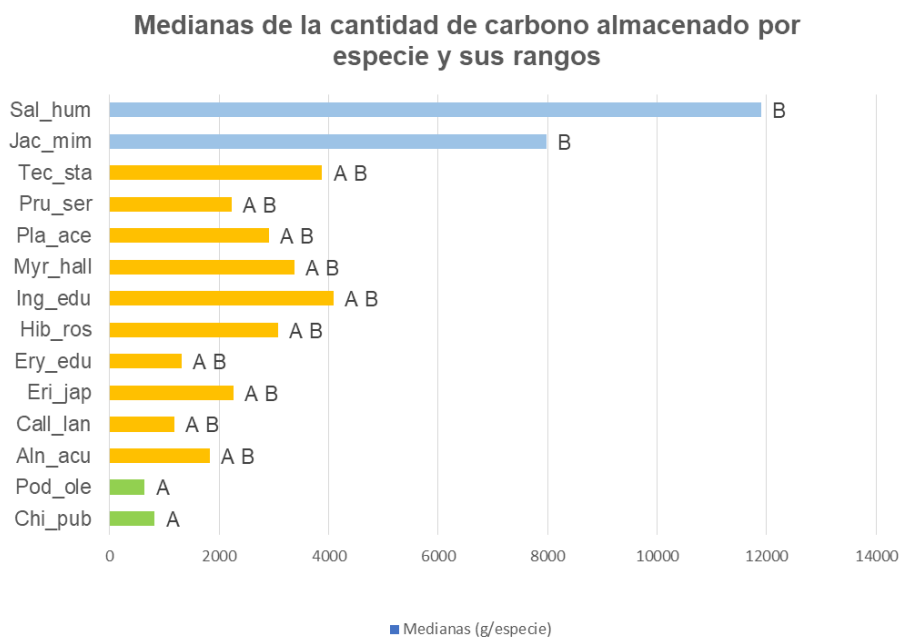
Se utilizaron la prueba de Kruskal Wallis y comparaciones posteriores para obtener datos descriptivos como el número de individuos en cada grupo, la desviación estándar y las medianas. Además, se clasificaron los datos en 3 grupos (A, AB, B) que mostraron diferencias estadísticamente significativas entre ellos. De esta manera, se pudo obtener información relevante sobre la distribución de los datos, tal como se muestra en los resultados obtenidos (Tabla 7).

**Tabla 7.** Test de Kruskal Wallis con respecto al almacenamiento del carbono

Variable	Sp	N	D.E.	Medianas	Rango	H	P
c	Chi_pub	10	4915,75	813,59	A	47,58	<0,0001
c	Pod_ole	6	1030,46	636,02	A		
c	Aln_acu	82	5903,7	1827,58	A B		
c	Call_lan	6	10873,9	1174,63	A B		
c	Eri_jap	3	10402,1	2258,17	A B		
c	Ery_edu	3	6178,06	1313,67	A B		
c	Hib_ros	3	1218,56	3074,8	A B		
c	Ing_edu	7	14848,6	4090,27	A B		
c	Myr_hall	3	2879,52	3373,64	A B		
c	Pla_ace	2	4089,11	2907,54	A B		
c	Pru_ser	5	3270,65	2226,32	A B		
c	Tec_sta	8	7273,16	3877,09	A B		
c	Jac_mim	7	5940,69	7972,63	B		
c	Sal_hum	58	28810,8	11896,7	B		

**Nota:** SP = especie; N = número de especies; D.E. = Desviación estándar; P = probabilidad





**Figura 10.** Comparación a través de las medianas entre especies

Tras aplicar el análisis de Kruskal-Wallis para comparar las especies y obtener resultados significativos, se realizaron comparaciones para identificar las diferencias entre las especies, como se muestra en la Figura 10. Los resultados indican que hubo tres agrupaciones distintas (A, AB, B), en las cuales *Salix humboldtiana* se ubicó en el rango superior con una mediana de 11896,65 g, seguida por *Jacaranda mimosifolia* con 7972,63 g. Estas especies se clasificaron en un grupo de alta importancia, lo que sugiere que presentan diferencias significativas con respecto a las demás especies. Estos resultados resaltan la importancia de estas especies en la asimilación del carbono aéreo urbano.

Por otro lado, dentro del conjunto de especies evaluadas, se observó que *Chionanthus pubescens* y *Podocarpus oleifolius* presentaron una menor contribución en la asimilación de carbono, con valores medianos de 813,59 g y 636,02 g, respectivamente. Estas especies se agruparon en un rango inferior de medianas, lo que indica una menor cantidad de carbono almacenado.

### 5.3. Estimar la cantidad de material particulado interceptado por las hojas de las diferentes especies evaluadas

Se realizó un análisis de los valores de material particulado (g/kg) mediante la prueba de Shapiro-Wilk, la cual rechazó la hipótesis de normalidad de los datos ( $p > 0,0001$ ). Posteriormente, se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para comparar los datos

y se obtuvieron diferencias estadísticas significativas ( $p < 0,0001$ ), lo que indica que al menos una especie se diferencia de las demás en términos de su capacidad para interceptar el material particulado. Los resultados se presentan en la Tabla 8.

**Tabla 8.** Tabla del Test de Kruskal Wallis y comparación del material particulado interceptado

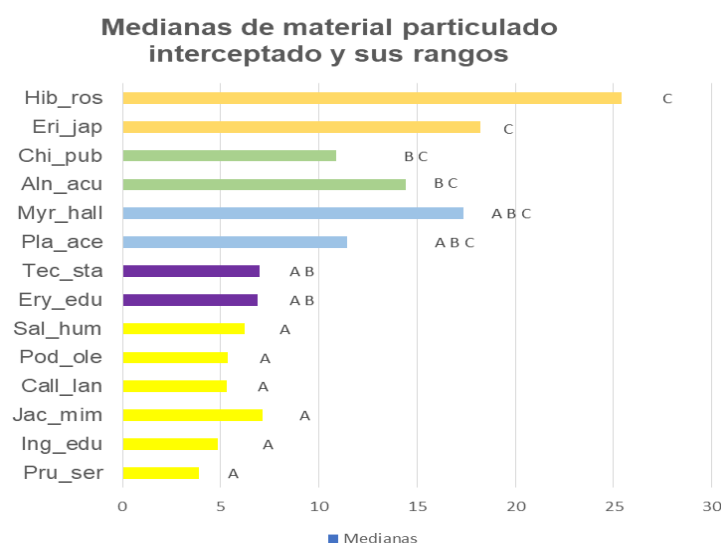
Variable	Sp	N	Medianas	Rango	H	P
M.P.	Call_lan	6	5,3	A	98,92	<0,0001
M.P.	Ing_edu	7	4,85	A		
M.P.	Jac_mim	7	7,13	A		
M.P.	Pod_ole	6	5,36	A		
M.P.	Pru_ser	5	3,88	A		
M.P.	Sal_hum	58	6,23	A		
M.P.	Ery_edu	2	6,88	A B		
M.P.	Tec_sta	8	6,98	A B		
M.P.	Myr_hall	3	17,37	A B C		
M.P.	Pla_ace	2	11,42	A B C		
M.P.	Aln_acu	82	14,41	B C		
M.P.	Chi_pub	10	10,89	B C		
M.P.	Eri_jap	4	18,23	C		
M.P.	Hib_ros	3	25,39	C		

**Nota:** Sp = Especie; N = Número de especies; D.E. = Desviación estándar; P = Probabilidad

Se llevaron a cabo comparaciones entre las especies para determinar cuáles de ellas contribuye más a la interceptación de material particulado. Los resultados indicaron que *Hibiscus rosa sinensis* presenta la mayor contribución con un valor de 25,39 g/KgMs, lo que la ubica en el rango C de eficiencia en la captura de material particulado. En segundo lugar, se encuentra *Eriobotrya japonica*, con una mediana de 18,23 g/KgMs, también ubicándose en el rango C. Estos hallazgos sugieren que ambas especies son las más efectivas en la captura de material particulado en comparación con las demás evaluadas en el estudio.

Por otro lado, se observó que las especies *Prunus serotina* (3,88 g/KgMs), *Inga edulis* (4,85 g/KgMs), *Jacaranda mimosifolia* (7,13 g/KgMs), *Callistemon lanceolatus* (5,3 g/KgMs), *Podocarpus oleifolius* (5,36 g/KgMs) y *Salix humboldtiana* (6,23 g/KgMs) presentaron una

menor eficiencia en la intercepción de material particulado, ubicándose en el rango A como se puede observar en la Figura 11.



**Figura 11.** Comparación a través de las medianas del material particulado interceptado entre las especies

#### 5.4. Análisis de correlación

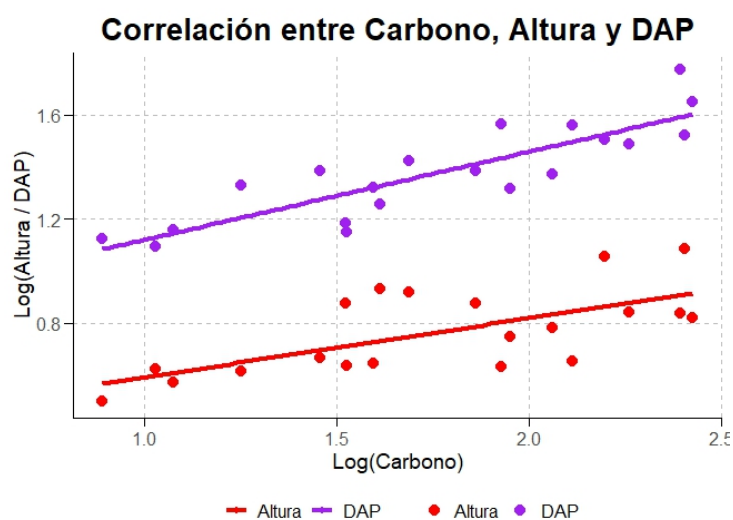
En este estudio, se encontró una correlación significativa entre la variable de carbono frente a las variables de DAP ( $k=0,82$ ;  $p=0,0007$ ) y altura ( $k=0,67$ ;  $p=0,0054$ ). Esto significa que existe una relación lineal positiva entre la cantidad de carbono con el diámetro a la altura del pecho (DAP) y con la altura de los árboles. Es decir, a medida que incrementa la altura y el DAP de los árboles, también aumenta la cantidad de carbono almacenado en su biomasa, como lo podemos observar en la Figura 12.

En el caso de las variables de material particulado (MP) con altura obtenemos una correlación negativa ( $k=-0,445$ ;  $p=0,0663$ ). Este resultado sugiere que, a medida que disminuye la altura de los árboles, se incrementa la cantidad de material particulado interceptado.

La altura a la que se encuentran las especies que más partículas intercepta varía, pero en general se mantiene en un rango entre bajo y medio. En el caso de *Hibiscus rosa sinensis*, su altura media es de 4,62 metros, seguida por *Eriobotrya japonica* con 5,67 metros y *Chionanthus pubescens* con 4,32 metros. Las especies que alcanzaron mayor altura fueron *Salix humboldtiana* (12,13 metros) y *Jacaranda mimosifolia* (8,79 metros). Es importante tener

en cuenta que esta correlación inversa también puede estar influenciada por varios factores ambientales y geográficos, como las precipitaciones, el nivel de contaminación, entre otros.

En cuanto a la altura a la que se encuentran las especies que más partículas interceptan, esta varía y en general se mantiene en un rango entre bajo y medio. Entre las especies analizadas, *Hibiscus rosa sinensis* presenta una altura media de 4,62 metros, seguida por *Eriobotrya japonica* (5,67 metros) y *Chionanthus pubescens* (4,32 metros). En contraste, *Salix humboldtiana* (12,13 metros) y *Jacaranda mimosifolia* (8,79 metros) alcanzan mayor altura. No obstante, es importante considerar que esta correlación inversa podría verse influida por varios factores ambientales y geográficos, como las precipitaciones o el nivel de contaminación, entre otros.



**Figura 12. Correlación entre Carbono frente a DAP y Atura**

**Nota.** El análisis de correlación permite determinar si existe una relación lineal entre dos variables. Los valores en los ejes de las abscisas y ordenadas corresponden a las transformaciones logarítmicas realizadas en cada variable.

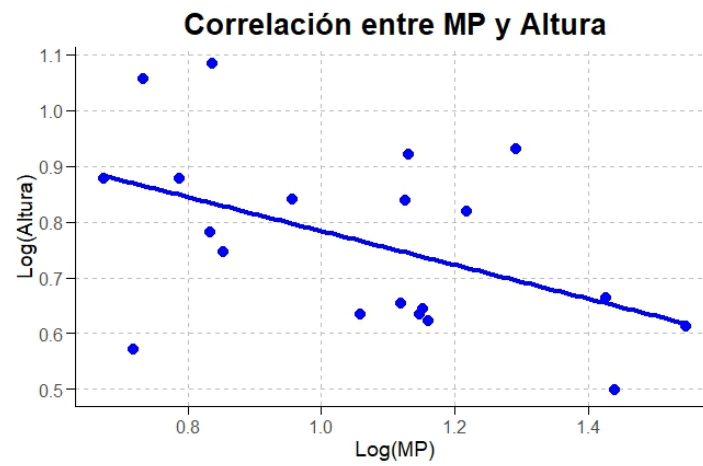


Figura 13. Correlación entre Material Particulado frente a Altura

## 6. Discusión

### 6.1. Identificar la riqueza y diversidad florística en los parques y el biocorredor del río Santa Bárbara de la zona urbana de Gualaceo

El estudio realizado por Cordero et al. (2015) indica que los valores obtenidos del índice de Shannon reflejan una diversidad media de especies en los sitios evaluados, en comparación con los valores obtenidos en la presente investigación, los cuales fueron menores a dos que indican una baja diversidad. Además, su investigación muestra que existen más especies introducidas que especies nativas, y algunas de las especies más frecuentes e importantes dentro de la ciudad son el fresno "*Tecoma stans*" y el molle "*Schinus molle*", en el estudio en la mayoría de los parques estuvo presente la especie *Tecoma stans*. Otras especies presentes en Cuenca son *Callistemon sp*, *Hibiscus rosa sinensis*, y *Populus alba*, dichas especies también se encontraron en la ciudad de Gualaceo, pero no existían muchos ejemplares.

Arévalo y Balarezo (2022) en su estudio evaluaron la riqueza y diversidad de especies mediante diferentes índices como el de Shannon donde sus valores reflejan una diversidad media-alta entre 2,5 a 4, en el actual estudio se encontraron valores menores a dos en los cuatro sitios evaluados, lo que indica una menor diversidad de especies, con lo cual se demuestra que en la ciudad de Cuenca se presentan más diversidad de especies e individuos en sus parques; cabe mencionar que se encontraron especies comunes tales como: *Alnus acuminata*, *Callistemon lanceolatus*, *Chionanthus pubescens*, *Delostoma integrifolium*, *Eriobotrya japonica*, *Erythrina edulis*, *Hibiscus rosa sinensis*, *Inga sp*, *Jacaranda mimosifolia*, *Myrcianthes hallii*, *Salix humboldtiana*, *Prunus serotina* y *Tecoma stans*. En cuanto al índice de Simpson, sus valores fueron cercanos a uno lo que indica mayor dominancia de especies; en cambio, en la actual investigación los valores cercanos a cero demuestran menor dominancia. Finalmente, el índice de Jaccard en todos los sitios fue igual y cercano a cero. En contraste, en Gualaceo se encontraron valores más altos, lo que sugiere la presencia de especies similares; incluso se registró un valor de cero, lo que indica la ausencia de especies similares.

En un estudio previo llevado a cabo por Minga et al. (2019) en la ciudad de Cuenca, se encontraron especies similares a las halladas en el estudio, siendo la especie más predominante *Salix humboldtiana*. En el río Santa Bárbara, esta especie ocupó el segundo lugar con el mayor número de individuos, en Cuenca se presentó más especies introducidas a diferencia de Gualaceo en la cual predominó las especies nativas. En otro estudio realizado

en el río Yanuncay en la ciudad de Cuenca, se encontró que *Alnus acuminata* es una de las especies dominantes, de la misma manera los resultados en Gualaceo indicaron que dicha especie cuenta con el mayor número de individuos registrados (Albarracín, 2019). Es crucial fomentar la protección y distribución de las especies nativas en los ríos. Por lo tanto, es necesario llevar a cabo una adecuada restauración ecológica (Minga y Verdugo, 2016; Bravo, 2014).

El estudio realizado en Gualaceo por Pintado y Astudillo (2021), reveló que *Salix humboldtiana* y *Alnus acuminata* fueron las especies con mayor número de individuos, pero se encontraron únicamente en el río Santa Bárbara y en el río San Francisco. Además, en cuanto a las especies más representativas en los parques, se encontraron *Jacaranda mimosifolia*, *Chionanthus pubescens*, *Callistemon lanceolatus* y *Tecoma stans*, coincidiendo con la información obtenida en el actual estudio.

La implementación de áreas verdes en las zonas urbanas es un tema crucial para todas las ciudades. Varios estudios han demostrado una deficiencia de parques y espacios verdes en Ecuador, lo que subraya la importancia de abordar este problema. Es fundamental tener en cuenta que aumentar la diversidad de árboles en estas áreas mejora el hábitat del ecosistema urbano. Por lo tanto, es importante evitar la plantación de una sola especie para prevenir afectaciones por plagas o enfermedades, como se ha demostrado en estudios anteriores (Cordero et al., 2015; Vayas y Jaramillo, 2021).

## **6.2. Estimar la cantidad de carbono almacenado existente en las diferentes especies forestales ornamentales**

En el presente estudio, se encontró que la especie *Salix humboldtiana*, conocida comúnmente como "sauce", tuvo una de las mejores tasas de fijación de carbono, con un valor de 11896,65 g C/planta. Este resultado coincide con la investigación realizada en los parques de Cuenca, donde también se destacó la importancia de esta especie en términos de fijación de carbono, según Arévalo y Balarezo (2022). Además, los datos presentados en el trabajo de Pintado y Astudillo (2021) también indican que *Salix humboldtiana* es una de las especies con mayor capacidad de almacenamiento de carbono.

Aceñolaza et al. (2007) en su estudio realizado en tres bosques de la llanura aluvial en Argentina, encontraron que *Salix humboldtiana* fue la especie que almacena más carbono, con un valor de 113 Mg C ha<sup>-1</sup>, seguida de *Tessaria integrifolia* (79 Mg C ha<sup>-1</sup>) y *Albizia inundata* (50 Mg C ha<sup>-1</sup>). Sin embargo, es importante tener en cuenta que los valores

obtenidos pueden variar según el número de ejemplares evaluados. En nuestro caso, la especie *Salix humboldtiana* contó con un total de 58 individuos.

Minga et al. (2019) señalan que la capacidad de almacenamiento de carbono de una especie puede verse afectada por diversas presiones, como el crecimiento poblacional, el manejo y cuidado y los cambios en su hábitat. En su estudio, se demostraron cambios en la captación de carbono en un período de dos años. Por ejemplo, la especie *Jacaranda mimosifolia* experimentó una disminución en su biomasa y, por lo tanto, una menor capacidad de captación de carbono. En tanto que, en el actual estudio, fue la segunda especie en almacenar más carbono. Esto sugiere que se encuentra en buenas condiciones debido a un adecuado manejo y cuidado.

La capacidad de captura de carbono de las especies urbanas puede verse afectada por diversas condiciones ambientales (McPherson y Simpson, 1999). Para obtener una estimación precisa del potencial de almacenamiento de carbono, es necesario llevar a cabo estudios específicos en las especies arbóreas presentes en las zonas urbanas. Actualmente, existe una falta de investigación en este ámbito, lo que resulta en la variabilidad de los valores de captura de carbono debido al uso de ecuaciones alométricas basadas en estudios previos realizados en bosques (McHale et al., 2009).

### **6.3. Estimar la cantidad de material particulado interceptado por las hojas de las diferentes especies evaluadas**

Según los resultados obtenidos, se puede afirmar que *Hibiscus rosa sinensis* y *Eriobotrya japonica* son las especies que más cantidad de polvo sedimentable interceptan gracias a sus características anatómicas favorables para su función ambiental. Dicha capacidad de interceptación puede variar dependiendo de diferentes factores, tales como el nivel de contaminantes presentes en el área, las características anatómicas de la hoja y la altura a la que se encuentra la planta, tal como señala Dalmaso et al. (1997).

Según Dalmaso et al. (1997), la rugosidad y la presencia de venas en las hojas son importantes ya que estas características sirven como acumuladores de contaminantes. Las hojas de *Hibiscus rosa sinensis* y *Eriobotrya japonica* tienen una estructura anatómica bien definida en sus nervaduras tanto en el haz como en el envés de la hoja, lo que les permite atrapar polvo atmosférico. Además, presentan hendiduras y rugosidades que favorecen aún más su capacidad de interceptación en comparación con hojas completamente lisas (Freer et al., 2015).



El estudio de Durán y Alzate (2009) destaca la importancia del área foliar en la capacidad de las especies para interceptar material particulado. Sin embargo, es importante mencionar que Beckett (1998), como se citó en Durán y Alzate (2009, p.64), argumentan que a medida que aumenta el área foliar, puede disminuir la capacidad de la planta para interceptar material particulado, debido a que, a mayores densidades de hojas, existe menos conexión de las masas de aire con la parte interior de la planta. Esto significa que el aire que transporta los contaminantes no podría ser depositado en las hojas que se encuentran en el interior. Pero Durán y Alzate (2009) mencionan que no solo el área foliar se encarga del flujo de aire, sino también del tamaño de la hoja, por lo cual hojas más pequeñas y no anchas podrían posibilitar el ingreso de las masas de aire, favoreciendo la turbulencia y disposición de los materiales.

En cuanto a *Hibiscus rosa sinensis*, es una especie con una alta área foliar, lo que podría favorecer su capacidad para interceptar material particulado, tal como lo indican Durán y Alzate (2009). No obstante, también es cierto que el tamaño y la forma de las hojas pueden influir en la capacidad de la especie para interceptar el material particulado de diferentes maneras. En el caso de *Hibiscus rosa sinensis*, el tamaño de sus hojas es pequeño lo cual también tiene un impacto en su capacidad para interceptar material particulado.

#### 6.4. Análisis de correlaciones

En un estudio llevado a cabo en la finca La Carmelina en Cuba sobre la captura de carbono por especies arbóreas, se encontró que la altura y el DAP (diámetro a la altura del pecho) de los árboles influyen en el almacenamiento de carbono. Aunque los datos obtenidos en este estudio fueron inferiores a los de otras investigaciones, la correlación de Pearson mostró que la altura del árbol está relacionada con el carbono almacenado, con un valor de  $k=0,674$ , mientras que el DAP presenta una correlación aún más fuerte, con un valor de  $k=0,817$  (Frías et al., 2021).

Según García (2011), en su evaluación del secuestro de carbono en fincas de la provincia de Villa Clara, Cuba, se encontró una alta relación entre la altura, edad y perímetro de los árboles y el almacenamiento de carbono, con un valor muy significativo del 99,72%. Estos resultados son similares a los obtenidos en el presente estudio.

La altura de las plantas es un factor clave en su capacidad para interceptar material particulado. Un estudio realizado por Alvarado y Luzuriaga (2019) en Loja, confirmó que las plantas de menor estatura tienen una mayor capacidad para adquirir material particulado. En el actual estudio también se presentó una correlación de  $k=-0,445$  entre materia particulado

y altura. Según el autor, la especie *Hibiscus rosa sinensis* al ser un arbusto de altura media, su intervención es más rápida que en el caso de plantas de mayor tamaño; en Gualaceo, esta especie demostró ser la más efectiva para capturar este tipo de contaminante. Además, puede deberse a que el material particulado es más denso cerca de la fuente emisora y se dispersa a medida que se aleja.

## Conclusiones

Según la pregunta de investigación acerca de las especies que almacenan la mayor cantidad de carbono y material particulado, se ha determinado que *Salix humboldtiana* y *Jacaranda mimosifolia* son las especies que capturan mayor cantidad de carbono aéreo; las especies *Podocarpus oleifolius* y *Chionanthus pubescens* fueron quienes menor cantidad de carbono almacenan. Estos resultados pueden ser influenciados por las diferentes variables como DAP, altura, biomasa o densidad de madera que presentaron cada una de las especies en campo.

En cuanto al material particulado, se ha encontrado que *Hibiscus rosa sinensis* y *Eriobotrya japonica* fueron las especies en interceptar mayor cantidad material particulado. Por otro lado, *Salix humboldtiana*, *Podocarpus oleifolius*, *Callistemon lanceolatus*, *Jacaranda mimosifolia*, *Inga edulis* y *Prunus serotina* son las especies que menos interceptan material particulado. Los valores obtenidos presentan significancia y varían en función de las características morfo-anatómicas de las hojas de los diferentes árboles, lo que atribuye a la captura de mayor o menor cantidad de material particulado. La altura es uno de los factores importantes que se correlacionan con la capacidad de interceptar polvo atmosférico, por lo tanto, en nuestros resultados se evidenció que las especies con menor altura obtenían mayores cantidades de estos contaminantes.

La diversidad y riqueza de especies en los cuatro sitios evaluados se analizaron mediante índices como Shannon, Simpson y Jaccard. Los resultados indicaron que la diversidad fue baja en todos los sitios, con valores inferiores a dos en el índice de Shannon. Para el índice Simpson sus valores son menores a 0,5 es decir existe menor diversidad de la comunidad, en el índice de Jaccard con resultados inferiores a 0,5 e inclusive 0 indicando baja y nula similitud de las especies entre dos sitios. Para el río Santa Bárbara predominaron *Salix humboldtiana* y *Alnus acuminata*, en los parques 10 de Agosto: *Tecoma stans* y *Callistemon lanceolatus*; Simón Bolívar: *Chionanthus pubescens*, *Jacaranda mimosifolia* y *Tecoma stans*; del Niño: *Chionanthus pubescens* y *Jacaranda mimosifolia*. No se identificó alguna especie común en los cuatro sitios estudiados, cabe mencionar que existen más especies nativas que introducidas del Ecuador.

Se encontró una correlación positiva entre la captura de carbono y la altura y DAP de la especie arbórea. Esto indica que a medida que la altura y DAP de la especie aumentan, también lo hace su capacidad de almacenar carbono. Por otro lado, se encontró una correlación negativa entre el material particulado y la altura de la especie arbórea. Esto

sugiere que a medida que la altura de la especie arbórea aumenta, hay una menor cantidad de material particulado interceptado.

## Recomendaciones

Es necesario generar más información sobre la capacidad de almacenamiento de carbono y material particulado de las especies presentes en las áreas verdes urbanas, con el fin de contribuir a una mejor planificación y gestión de estas áreas por parte de las autoridades e investigadores.

Es importante realizar más investigaciones sobre la riqueza y diversidad de especies en las áreas urbanas de las ciudades del Ecuador, tanto nativas como introducidas, para poder conocerlas mejor y planificar su manejo y conservación.

Se recomienda profundizar en el estudio de la captura de material particulado por parte de las especies vegetales, con el fin de comprender mejor sus características y poder mejorar la calidad del aire en las áreas urbanas.

Se recomienda a las diferentes instituciones encargadas de las áreas verdes en general, promover y mejorar la implantación de especies nativas, con el fin de evitar la disminución de dichas especies. De igual manera mantener un manejo, cuidado y protección de los árboles y fomentar la reforestación.

Se sugiere tener en cuenta la distribución de especies como *Salix humboldtiana* y *Jacaranda mimosifolia* para mejorar el almacenamiento de carbono, e *Hibiscus rosa sinensis* y *Eriobotrya japonica* para la intercepción de material particulado.

Sería recomendable realizar estudios de captura de particulado en diferentes estaciones del año para conocer las variaciones en la intercepción de dicho material, ya el estudio se realizó en épocas lluviosas.

Es importante mantener y mejorar las condiciones de hábitat de las especies vegetales, para maximizar su capacidad de almacenamiento de carbono y su contribución a la calidad del aire.

Se recomendaría *Chionanthus pubescens* y *Alnus acuminata* para mejorar la captura del materia particulado, si se desea implementar con relación a temas de conservación y distribución de especies nativas.

## Referencias

- Abbas, M., Tahira, A., Jamil, S., Abrar, A. y Rashid, F. (2017). Air quality monitoring of particulate matter (PM 2.5 & PM 10) at Niazi and Daewoo bus station. *Lahore FUUAST Journal of Biology*, 7(1), 13-18.
- Aceñolaza, P., L. P. Zamboni y J. F. Gallardo L. 2008. Estimación de carbono en tres bosques de la llanura aluvial del Bajo Paraná (R. Argentina). In: Gallardo., L., J. F. (Comp.). La captura de carbono en ecosistemas terrestres iberoamericanos. Red Iberoamericana de Física y Química Ambiental. Sociedad Iberoamericana de Física y Química Ambiental. Salamanca, España. pp. 39-53.
- Alden, H. (1995). *Hardwoods of North America*. United States Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. Gen. Tech. Report FPL-GTR-83. 136 pp.
- Albarracín, S. (2019). *Propuesta de manejo integral de la subcuenca hidrográfica del río Yanuncay, provincia del Azuay* [Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17305>.
- Alpaidze, L. y Salukvadze, J. (2023). Green in the City: Estimating the Ecosystem Services Provided by Urban and Peri-Urban Forests of Tbilisi Municipality, Georgia. *Forests*, 14(1), 121. <https://doi.org/10.3390/f14010121>.
- Alvarado, V. y Luzuriaga, D. (2019). *Evaluación del potencial de la vegetación para retención del polvo sedimentable en la zona urbana de la ciudad de Loja* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Loja]. <https://doi.org/10.48082/epoch.fcag.22048>.
- Alvis, T., Villasante, J., Pauca, G., Quispe, J. y Luque, C. (2021). Cálculo y valoración del almacenamiento de carbono del humedal altoandino de Chalhuanca, Arequipa (Perú). *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 23(3), 139-148. <https://dx.doi.org/10.18271/ria.2021.314>.
- Amoatey, P. y Sulaiman, H. (2019). *Quantifying carbon storage potential of urban plantations and landscapes in Muscat, Oman*. *Environment, Development and Sustainability*. doi:10.1007/s10668-019-00556-5.
- Anonymous. (1974). *Standard Nomenclature of Forest Plants, Burma, including commercial timbers*. Forest Research and Training Circle, Forest Department, Burma. 121 pp.

- Arévalo, D. y Balarezo, A. (2022). *Contribución de las especies forestales ornamentales en el secuestro de carbono y material particulado en cuatro parques urbanos de la ciudad de Cuenca* [Tesis de grado, Universidad de Cuenca]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/39322>.
- Baldeón, G. (2021). Asociación de Empresa Automotrices del Ecuador. *Anuario 2021*.
- Beckett, P. (1998). Particulate pollution removal by Urban Trees. *Kevin Beckett's homepage*.
- Bravo, E. (2014). *La Biodiversidad en el Ecuador*. Universidad Politécnica Salesiana. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/6788>.
- Brown, S. (1997). *Los bosques y el cambio climático: el papel de los terrenos forestales como sumideros de carbono*. Actas del XI Congreso Mundial Forestal: Recursos Forestales y Árboles.
- Brzeziecki, B. y Kienast, F. (1994). Classifying the life-history strategies of trees on the basis of the Grimian model. *Forest Ecology and Management*, 69, 167-187.
- Cartuche, K. y Pucha Cofrep, D. (2022). *Caracterización de la madera de 95 especies forestales del sur de Ecuador con base a sus propiedades físicas, organolépticas y anatómicas*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Loja]. doi: 10.13140/RG.2.2.19122.68809.
- Carvajal, B. y Andrade, H. (2020). Captura de carbono en biomasa de sistemas de uso del suelo, municipio de Yopal, Casanare, Colombia. *ORINOQUIA*, 24(1), 13-22. <https://doi.org/10.22579/20112629.587>.
- CEPAL. (8 de septiembre de 2021). *Plan Nacional de Oportunidades 2021-2025 de Ecuador*. Recuperado el 15 de junio de 2022. Obtenido de: <https://observatorioplanificacion.cepal.org/es/planes/plan-de-creacion-de-oportunidades-2021-2025-de-ecuador>.
- Chave, J., Réjou, M., Búrquez, A., Chidumayo, E., Colgan, M., Delitti, W., Duque, A., Eid, T., Fearnside, P., Goodman, R., Henry, M., Martínez, A., Mugasha, W., Muller, H., Mencuccini, M., Nelson, B., Ngomanda, A., Nogueira, E., Ortiz, E., Péliissier, R., Ploton, P., Ryan, C., Saldarriaga, J. y Vieilledent, G. (2014). Improved allometric models to

- estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology*, 20, 3177-3190.
- Cheng, J.C., Yang, J. y Liu, P. (1992). *Anatomy and Properties of Chinese Woods*. Chinese Forestry Publishing, Beijing, China. 820 pp.
- Concha, J., Alegre, J. y Pocomucha, V. (2007). Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de sistemas agroforestales de theobroma cacao I. En el Departamento de San Martín, Perú. *Ecología Aplicada*, 6(1-2), 75-82.
- Cordero, P., Vanegas, S., y Hermida, M. (2015). La biodiversidad urbana como síntoma de una ciudad sostenible. Estudio de la zona del Yanuncay en Cuenca, Ecuador. *Maskana*, 6(1), 107-130.
- Cuenca, M., Jadán, O., Cueva, K., y Aguirre, C. (2014). Carbono y ecuaciones alométricas para grupos de especies y bosque de tierras bajas, Amazonía Ecuatoriana. *CEDAMAZ*, 4(1). <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/cedamaz/article/view/226>.
- Dalmasso, A., Candia, R. y Llera, J. (1997). La vegetación como indicadora de la contaminación por polvo atmosférico. *Multequina*, 6, 91-97.
- Detienne, P. y Jacquet, P. (1983). *Atlas d'Identification des Bois de l'Amazonie et des Regions Voisines*. Centre Technique Forestier Tropical.
- Detienne, P., Jacquet, P. y Mariaux, A. (1982). *Manuel d'Identification des Bois Tropicaux, Tome 3, Guyane Francaise*. Centre Technique Forestier Tropical, Nogent-sur-Marne, France.; Pierre Détienne, P. y Jacquet, P. (1983). *Atlas d'Identification des Bois de l'Amazonie et des Régions Voisines*. Centre Technique Forestier Tropical, Nogent-sur-Marne, 640 pp.
- Díaz, V. y Páez, C. (2006). Contaminación por material particulado en Quito y caracterización química de las muestras. *Acta Nova*, 3(2), 308-322.
- Dimitri, M. y Biloni, J. (1973). *Libro del árbol. Tomo 1. Esencias forestales indígenas de la Argentina de aplicación ornamental*. Editorial Celulosa Argentina; Leonardis, R. (1975). *Libro del árbol. Tomo 2. Esencias forestales indígenas de la Argentina de aplicación industrial*. Editorial Celulosa Argentina S. A.



- Durán, B. y Alzate, F. (2009). Total suspended particles interception by five urban tree species in Valle de Aburrá. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (47), 59–66.
- Egas, C., Naulin, P. y Préndez, M. (2018). Contaminación urbana por material particulado y su efecto sobre las características morfo-anatómicas de cuatro especies arbóreas de Santiago de Chile. *Información tecnológica*, 29(4), 111-118.
- Fiallos, G. (2021). La Correlación de Pearson y el proceso de regresión por el Método de Mínimos Cuadrados. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 5(3), 2491-2509. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v5i3.466](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i3.466)
- Foley, J., Costa, M., Delire, C., Ramankutty, N. y Snyder, P. (2003). Green surprise? How terrestrial ecosystems could affect earth's climate. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 1(1), 38–44.
- Fornieles, A. (2013). Transformaciones de datos en la elaboración de estudios salariales. *Revista de Psicología del Trabajo y de las Organizaciones*, 29(2), 75-82. <https://dx.doi.org/10.5093/tr2013a11>.
- Freer, P., Beckett, K. y Taylor, G. (2005). Deposition velocities to *Sorbus aria*, *Acer campestre*, *Populus deltoides* × *trichocarpa* 'Beaupre', *Pinus nigra* and × *Cupressocyparis leylandii* for coarse, fine and ultra-fine particles in the urban environment. *Environmental Pollution*, 133(1), 157-167.
- Frías, M., Bonilla, M. y Rivero, A. (2021). Captura de carbono por especies arbóreas en la finca La Carmelina. *Avances*, 23(2), 152-162.
- García, J., Gil, V. y Quintero, E. (2011). Estimación del Secuestro de Carbono por especies arbóreas en tres fincas de la provincia de Villa Clara. *Centro Agrícola*, 40(2), 15-18.
- Hernández, J., Espinosa, F., Peñaloza, M., Rodríguez, J., Chacón, J., Toloza, C., Arenas, M., Carrillo, S. y Bermúdez, V. (2018). Sobre el uso adecuado del coeficiente de correlación de Pearson: definición, propiedades y suposiciones. *AVFT – Archivos Venezolanos De Farmacología Y Terapéutica*, 37(5).
- Lam, K., Ng, S., Hui, W., y Chan, P. (2005). Environmental quality of urban parks and open spaces in Hong Kong. *Environmental monitoring and assessment*, 111(1), 55-73.

- Lorenzi, H. (1992). *Árvores brasileiras: Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil*. Nova Odessa, SP, Brasil: Instituto Plantarum de Estudos da Flora Ltda. ISBN 85-86714-11-9.
- Maher, B., Ahmed, I., Davison, B., Karloukovski, V. y Clarke, R. (2013). Impact of roadside tree lines on indoor concentrations of traffic-derived particulate matter. *Environmental science & technology*, 47(23), 13737–13744. <https://doi.org/10.1021/es404363m>.
- Martínez, E., Quiroz, C. y Rúa, J. (2011). Morbilidad respiratoria asociada con la exposición a material particulado en el ambiente. *Revista de La Facultad Nacional de Salud Pública*, 29(4), 454–460.
- McHale M., Burke, I., Lefsky, M., Pepper, P. y McPherson, E. (2009). Urban forest biomass estimates: is it important to use relationships developed specifically for urban trees?. *Urban Ecosystems*, 12, 95-113. doi: 10.1007/s11252-009-0081-3.
- McPherson, E. y Simpson, J. (1999). *Carbon dioxide reduction through urban forestry: Guidelines for professional and volunteer tree planters*. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-171. EE. UU.: USDA Forest Service, Pacific Southwest Research Station.
- Medina, G. (2011). Diversidad alfa y beta de la comunidad de reptiles en el complejo cenagoso de Zapatosa, Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 59(2).
- Minga, D. y Verdugo, A. (2016). *Árboles y arbustos de los ríos de Cuenca*. Serie Textos Apoyo a la Docencia Universidad del Azuay. Imprenta Don Bosco, Cuenca. <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/8784>.
- Minga, D., Peralta, M. y Jiménez, A. (2019). *Carbono Secuestrado en los árboles de dos parques de la ciudad de Cuenca*. [Biólogo con Mención en Ecología y Gestión, Universidad del Azuay]. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/9568>.
- Naciones Unidas. (2020). *Objetivo 11: Lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities/>.
- Muñoz, M. y Vásquez, E. (2020). *Estimaciones del potencial de captura de carbono en los parques urbanos y emisiones de CO2 vehicular en Cuenca, Ecuador* [Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana].

- Naula, P. (2021). *Descripción organoléptica y anatómica de la madera de cinco especies forestales mediante tinciones, procedentes del sector Pepinales, cantón Alausí, provincia de Chimborazo* [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esepoch.edu.ec/handle/123456789/15830>.
- Ordóñez, J., Galicia, A., Venegas, N., Hernández, T., Ordóñez, M. y Dávalos, R. (2015). Densidad de las maderas mexicanas por tipo de vegetación con base en la clasificación de J. Rzedowski: compilación. *Madera y bosques*, 21(SPE), 77-216.
- Pardo, Y., Andrade, H., Muñoz, J. y Velásquez, J. (2021). Carbon capture in three land use systems in the Colombian Amazonia. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 38(2), 111-123. <https://doi.org/10.22267/rcia.213802.160>.
- Pasquali, M. (23 de julio de 2019). *¿Dónde en América Latina está el aire más contaminado?*. World Economic Forum. <https://es.weforum.org/agenda/2019/07/donde-en-america-latina-esta-el-aire-mas-contaminado/>
- Pava, P. (2020). *Vegetación urbana como estrategia para reducir la contaminación del aire en áreas urbanas*. Universidad Militar de Nueva Granada.
- Penman, J., Gytarsky, M., Hiraishi, T., Krug, T., Kruger, D., Pipatti, R., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K. y Wagner, F. (2003). *Intergovernmental Panel on Climate Change Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry* IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme Published by the Institute for (Vol. 2108, 11th ed.). Institute for Global Environmental Strategies (IGES).
- Pequeño, M., Alanís, E., Aguirre, O., Molina, V., Méndez, C., Buendía, E. y Sánchez, L. (2019). Análisis de las partículas en suspensión depositadas sobre vegetación arbórea en el noreste de México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(1), 205-213. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i1.1545>.
- Pintado, S. y Astudillo, D. (2021). *Inventario forestal y estimación de la captura del carbono en los cuatro parques urbanos y en las riberas de los ríos Santa Bárbara y San Francisco en la zona turística del cantón Gualaceo* [Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21116>.
- Puliafito, S., Puliafito, J., Behler, J.C. y Alonso, P. (1995). La calidad del aire en Mendoza. En *Mendoza Ambiental* (pp. 207-242).

- Redondo, M., Gulenc, I. T., Cameron, R. W., y Inkson, B. J. (2021). 'Green barriers' for air pollutant capture: leaf micromorphology as a mechanism to explain plants capacity to capture particulate matter. *Environmental Pollution*, 288, 117809.
- Reyes, G., Brown, S., Chapman, J. y Lugo, A. (1992). Wood densities of tropical tree species. *General Technical Report SO-88, United States Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station*.
- Rubio, J. (2019). *Monitoreo y evaluación del impacto ambiental del material particulado PM10 y PM2, 5 en la Universidad Politécnica Salesiana campus sur* [Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17086>.
- Ruiz, J. (2020). *Estimación del potencial de almacenamiento de carbono del bosque protector "Los Arrayanes", sector Monte Verde, provincia del Carchi* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte]. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/10521>.
- Saavedra, L., Hernández, P., Alvarado, D., Martínez, T. y Villa, J. (2019). Diversidad, estructura arbórea e índice de valor de importancia en un bosque urbano de la Ciudad de México. *Polibotánica*, (47), 25-37. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.47.3>.
- Sarango, D. (2018). Análisis de la relación entre el consumo de energía y las emisiones de carbono en Ecuador. *Revista Económica*, 35-48.
- Sborato, D., Sborato, V. y Ortega, J. (2007). *Predicción y evaluación de impactos ambientales sobre la atmósfera*. Centro de Investigación y Formación en Salud Ambiental. Encuentro Grupo Editor (p. 74).
- SCFC. (1990). Benefits of urban trees. *Forestry Report R8-FR 17 April*. South Carolina Forestry Commission. USDA Forest Service (p. 12).
- SENPLADES. (2009). *Plan nacional del buen vivir*. Quito, Pichincha, Ecuador: Consejo Nacional de Planificación.
- SENPLADES. (2014). *Cantón Gualaceo Provincia de Azuay se encuentra en la Zona 6 de planificación*.

- Tovar, A., Lizarazo, I. y Rodríguez, N. (2020). Estimación de biomasa aérea de *Eucalyptus grandis* y *Pinus* spp usando imágenes Sentinel1A y Sentinel2A en Colombia. *Colombia Forestal*, 23(1), 79-93. <https://doi.org/10.14483/2256201x.14854>.
- Vayas, G. y Jaramillo, T. (2021). *La deforestación en zonas urbanas y el derecho a Vivir en un ambiente sano* [Tesis de grado, Universidad de Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/32802>.
- Zanne, A., Lopez, G., Coomes, D., Ilic, J., Jansen, S., Lewis, S., Miller, R., Swenson, N., Wiemann, M. y Chave, J.(2009). Data from: Towards a worldwide wood economics spectrum, Dryad, Dataset. <https://doi.org/10.5061/dryad.234>.
- Zhu, Z., Lang, W., Tao, X., Feng, J. y Liu, K. (2019). Exploring the Quality of Urban Green Spaces Based on Urban Neighborhood Green Index—A Case Study of Guangzhou City. *Sustainability*, 11(19), 5507. doi:10.3390/su11195507.

## Anexos

## Anexo A. Individuos estudiados en el biocorredor del río Santa Bárbara

Sitio	Nombre común	Nombre científico	Número de individuos
R. Santa Bárbara	Aliso	<i>Alnus acuminata</i>	82
R. Santa Bárbara	Cáñaro	<i>Erythrina edulis</i>	3
R. Santa Bárbara	Eugenia	<i>Eugenia biflora</i>	1
R. Santa Bárbara	Guaba	<i>Inga edulis</i>	7
R. Santa Bárbara	Arrayán	<i>Myrcianthes hallii</i>	1
R. Santa Bárbara	Guabisay	<i>Podocarpus oleifolius</i>	6
R. Santa Bárbara	Capulí	<i>Prunus serotina</i>	5
R. Santa Bárbara	Sauce	<i>Salix humboldtiana</i>	58
R. Santa Bárbara	Sauco	<i>Tecoma stans</i>	1
Total de individuos			164

## Anexo B. Individuos estudiados en el parque 10 de Agosto

Sitio	Nombre común	Nombre científico	Número de individuos
P. 10 de Agosto	Cepillo	<i>Callistemon lanceolatus</i>	3
P. 10 de Agosto	Arupo	<i>Chionanthus pubescens</i>	2
P. 10 de Agosto	Ciprés	<i>Cupressus macrocarpa</i>	1
P. 10 de Agosto	Navajuelo	<i>Delostoma integrifolium</i>	1
P. 10 de Agosto	Cucarda	<i>Hibiscus rosa-sinensis</i>	1
P. 10 de Agosto	Arrayán	<i>Myrcianthes hallii</i>	1
P. 10 de Agosto	Adelfa rosa	<i>Nerium oleander</i>	1

P. 10 de Agosto	Sauco	<i>Tecoma stans</i>	4
-----------------	-------	---------------------	---

---

Total de individuos			14
---------------------	--	--	----

---

**Anexo C.** Individuos estudiados en el parque Simón Bolívar

Sitio	Nombre común	Nombre científico	Número de individuos
P. Simón Bolívar	Calliandra	<i>Calliandra haematocephala</i>	1
P. Simón Bolívar	Cepillo	<i>Callistemon lanceolatus</i>	2
P. Simón Bolívar	Arupo	<i>Chionanthus pubescens</i>	3
P. Simón Bolívar	Níspero	<i>Eriobotrya japonica</i>	1
P. Simón Bolívar	Jacaranda	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	3
P. Simón Bolívar	Arrayán	<i>Myrcianthes hallii</i>	1
P. Simón Bolívar	Sauco	<i>Tecoma stans</i>	3
Total de individuos			14

**Anexo D.** Individuos estudiados en el parque del Niño

Sitio	Nombre común	Nombre científico	Número de individuos
P. del Niño	Cepillo	<i>Callistemon lanceolatus</i>	1
P. del Niño	Arupo	<i>Chionanthus pubescens</i>	5
P. del Niño	Níspero	<i>Eriobotrya japonica</i>	2
P. del Niño	Cucarda	<i>Hibiscus rosa-sinensis</i>	2
P. del Niño	Jacaranda	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	4
P. del Niño	Plátano	<i>Platanus acerifolia</i>	2
P. del Niño	Álamo	<i>Populus alba</i>	1



Total de individuos 17

### Anexo E. Resultados de los índices Shannon y Simpson en el programa Past

	RSB	Lower	Upper	P10A	Lower	Upper	PSB	Lower	Upper	PDN	Lower	Upper
Taxa S	9	9	9	8	6	8	7	5	7	7	6	7
Individuals	164	164	164	14	14	14	14	14	14	17	17	17
Dominance_D	0,380	0,331	0,428	0,174	0,143	0,265	0,174	0,153	0,286	0,190	0,163	0,322
Simpson_1-D	0,620	0,572	0,669	0,827	0,735	0,857	0,827	0,714	0,847	0,810	0,678	0,837
Shannon_H	1,243	1,121	1,404	1,909	1,567	2,008	1,834	1,475	1,909	1,789	1,401	1,875
Evenness_e^H/S	0,385	0,3409	0,4523	0,8429	0,7354	0,9306	0,8939	0,7333	0,9633	0,8548	0,6722	0,9312
Brillouin	1,166	1,049	1,32	1,395	1,152	1,473	1,366	1,102	1,424	1,38	1,096	1,451
Menhinick	0,703	0,703	0,703	2,138	1,604	2,138	1,871	1,336	1,871	1,698	1,455	1,698
Margalef	1,569	1,569	1,569	2,652	1,895	2,652	2,274	1,516	2,274	2,118	1,765	2,118
Equitability_J	0,566	0,510	0,639	0,918	0,841	0,965	0,942	0,841	0,981	0,919	0,778	0,963
Fisher_alpha	2,047	2,047	2,047	7,757	3,978	7,757	5,571	2,782	5,571	4,451	3,305	4,451
Berger-Parker	0,5	0,4268	0,5793	0,2857	0,2143	0,4286	0,2143	0,2143	0,4286	0,2941	0,2353	0,5294
Chao-1	12	9	15	13	6,5	23	8,5	6	13	7,25	6	13

### Anexo F. Resultados del índice de Jaccard en el programa Past

	RSB	P10A	PSB	PDN
RSB	1	0,133	0,143	0
P10A	0,133	1	0,364	0,250
PSB	0,143	0,364	1	0,4
PDN	0	0,25	0,4	1

### Anexo G. Medición de altura con el clinómetro y DAP con cinta diamétrica





## Anexo H. Recolección de los ejemplares para el herbario



## Anexo I. Colocación de placas para la identificación de los individuos



## Anexo J. Recolección de muestras para el material particulado



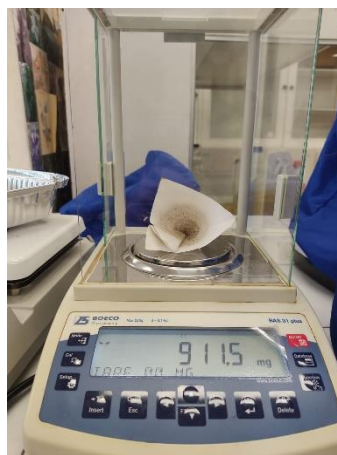
## Anexo K. Lavado de las hojas



## Anexo L. Filtrado para la obtención del material particulado



## Anexo M. Pesado del material particulado



## Anexo N. Secado y pesado de las muestras



## Anexo O. Análisis de correlación entre las variables carbono, material particulado, altura y DAP

	<u>col_1</u>	<u>col_2</u>	<u>corr</u>	<u>p value</u>	<u>lower</u>	<u>upper</u>	<u>pcnt nna</u>
	<u>&lt;chr&gt;</u>	<u>&lt;chr&gt;</u>	<u>&lt;dbl&gt;</u>	<u>&lt;dbl&gt;</u>	<u>&lt;dbl&gt;</u>	<u>&lt;dbl&gt;</u>	<u>&lt;dbl&gt;</u>
1	CARBONO	DAP	0.817	0.000759	0.586	0.925	100
2	CARBONO	ALTURA	0.674	0.00542	0.331	0.860	100
3	MP	ALTURA	-0.445	0.0663	-0.742	-0.00363	100
4	DAP	ALTURA	0.424	0.0801	-0.0222	0.730	100
5	MP	CARBONO	-0.323	0.183	-0.670	0.139	100
6	MP	DAP	0.00290	0.990	-0.440	0.445	100



## Anexo P. Herbario de las especies estudiadas en Gualaceo











**HERBARIO DE LA CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**  
**UNIVERSIDAD DE CUENCA**  
 Christian Chacón y Ma. Augusta Méndez CM-03  
 Myrtaceae 27-12-2022  
*Callistemon lanceolatus*  
 Cepillo  
 Azuay-Gualaceo-Gualaceo  
 2238 m.s.n.m x=746928 y=9680624  
 Hábito de crecimiento arbóreo con hojas simples, opuestas, forma lanceolada, color del haz es verde oscuro y el envés verde más claro; las flores son de color rojo, inflorescencia en espiga; el fruto es una cápsula.







Christian Israel Chacón Molina – María Augusta Méndez Timbe













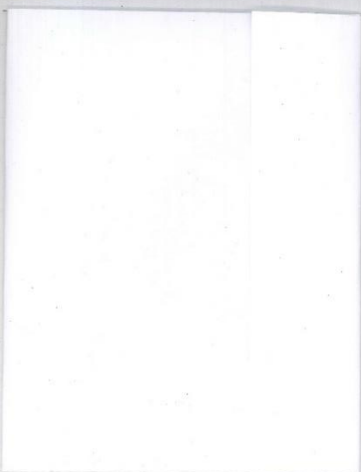








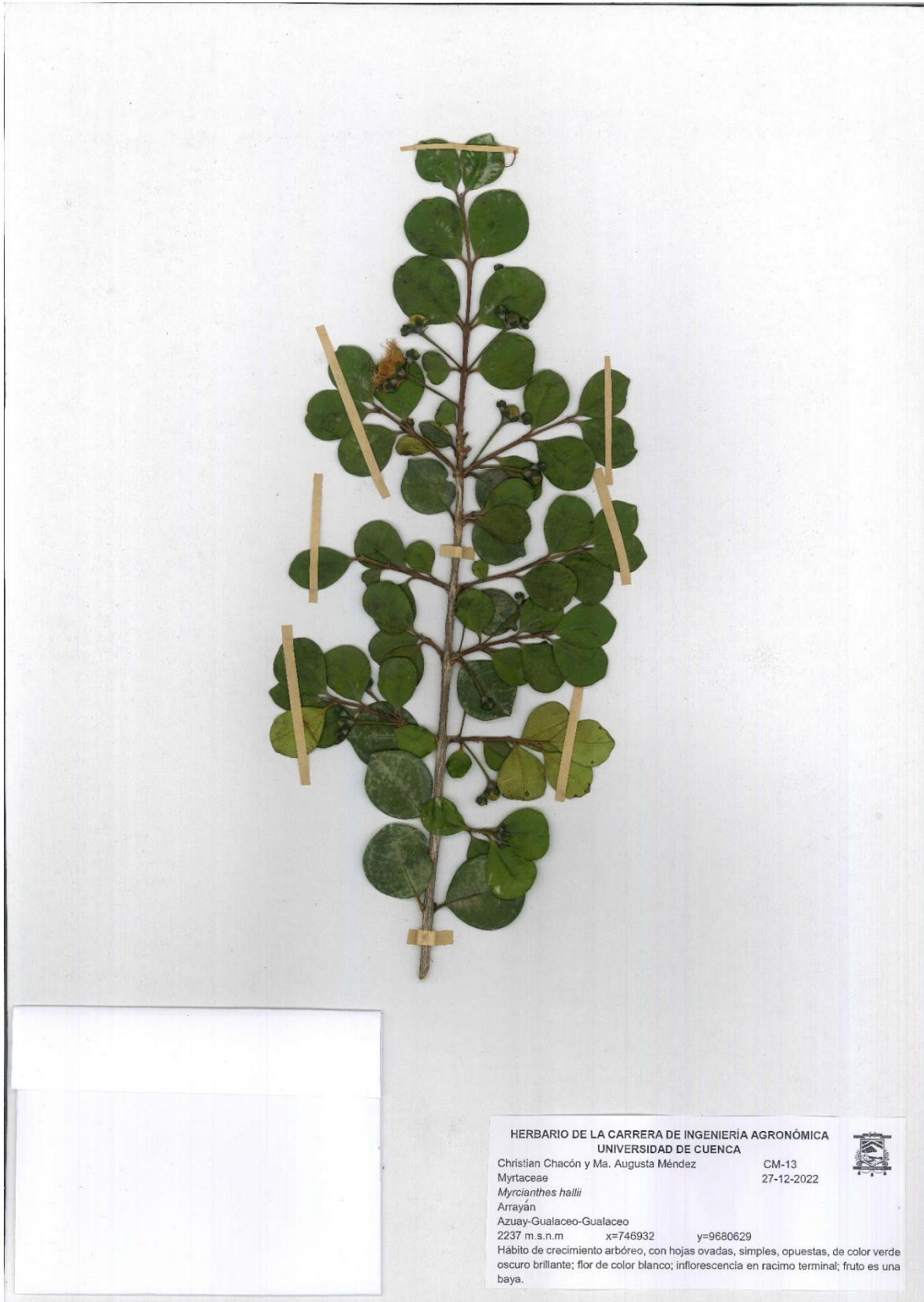
HERBARIO DE LA CARRERA DE INGENIERIA AGRONOMICA  
UNIVERSIDAD DE CUENCA  
Christian Chacón y Ma. Augusta Méndez  
Malvaceae  
*Hibiscus rosa-sinensis*  
Cucarda  
Azuay-Cuataleo-Cuataleo  
2237 m.s.n.m x=746991 y=9680328  
Hábito de crecimiento arbustivo, con hojas simples, alternas, ovaladas, borde  
dentado, de color verde oscuro en el haz y en el envés son más pálidas; flor de color  
rojo, rosa, etc.; grandes, solitarias; fruto es una cápsula.











HERBARIO DE LA CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA  
UNIVERSIDAD DE CUENCA

Christian Chacón y Ma. Augusta Méndez

CM-13

Myrtaceae

27-12-2022

*Myrcianthes hallii*

Arrayán

Azuay-Gualaceo-Gualaceo

2237 m.s.n.m

x=746932

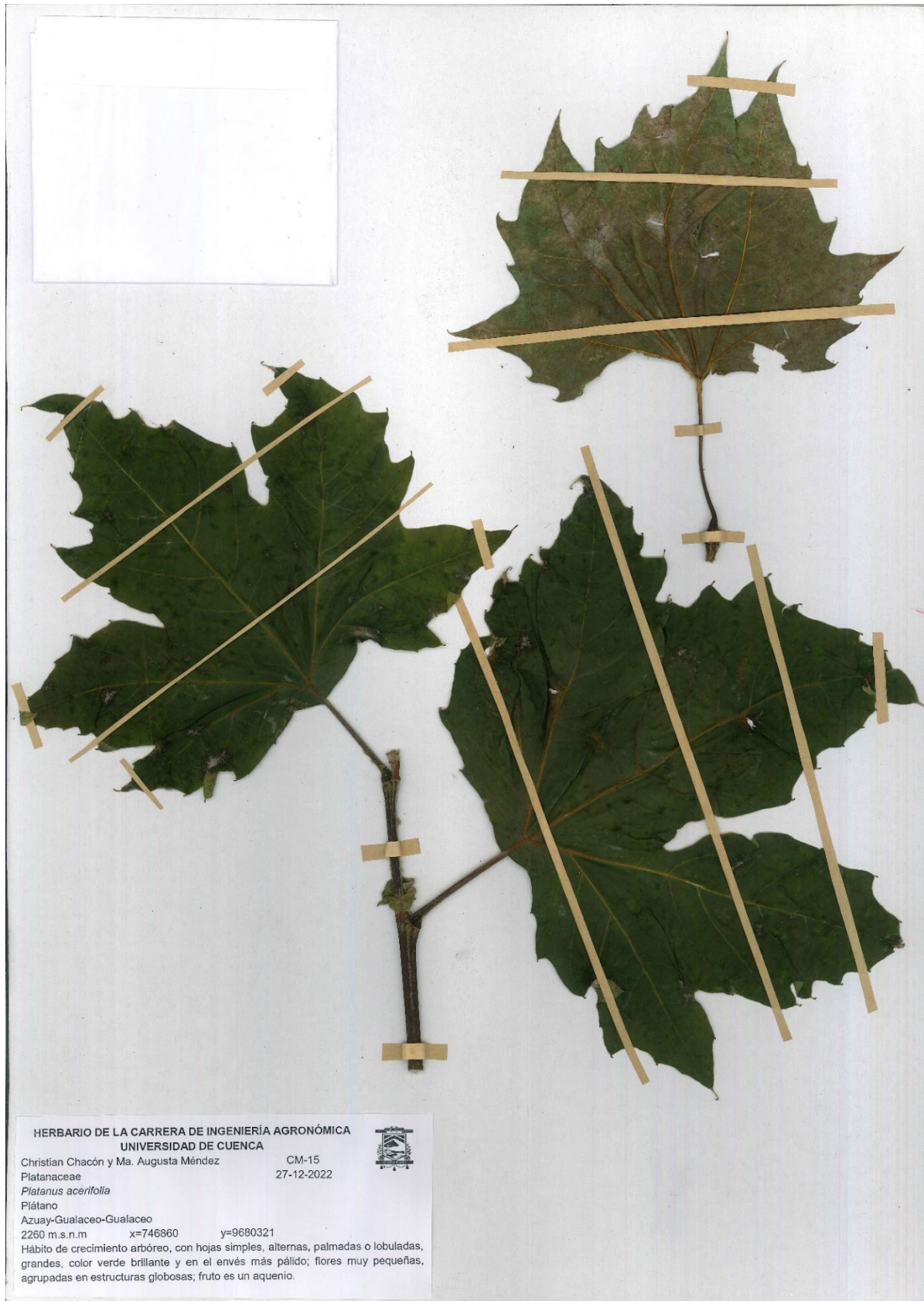
y=9680629

Hábito de crecimiento arbóreo, con hojas ovadas, simples, opuestas, de color verde oscuro brillante; flor de color blanco; inflorescencia en racimo terminal; fruto es una baya.



























HERBARIO DE LA CARRERA DE INGENIERIA AGRONÓMICA  
 UNIVERSIDAD DE CUENCA  
 Christian Chacón y Ma. Augusta Méndez  
 Bignoniaceae  
*Tecoma stans*  
 Salco  
 Sauto  
 Azuay-Guálacaeo-Guálacaeo  
 Z239 m.s.n.m      x=7/46923      y=9680624  
 CM-20  
 27-12-2022  
 Hábito de crecimiento arbóreo, con hojas compuestas imparipinadas, margen aserrado, de color verde oscuro en el haz y en el envés son más pálidas. Flores en forma escampanuladas de color amarillo; fruto como legumbre.

