

# UCUENCA

## Universidad de Cuenca

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Carrera de Ingeniería Agronómica

**Análisis de la diversidad funcional, estimación de carbono mediante ecuaciones alométricas y la cantidad de particulados presentes en especies leñosas de los cuatro biocorredores de los ríos en la zona urbana de Cuenca, Azuay**


Trabajo de titulación previo a la  
obtención del título de Ingeniera  
Agrónoma

**Autor:**

Karina Estefanía Inga Ayavaca

**Director:**

Pedro René Zea Dávila

ORCID:  0000-0002-2225-7881

**Cuenca - Ecuador**

2023-10-13

## Resumen

La vegetación urbana cumple varios servicios ecosistémicos aprovechados por el ser humano, como es el caso de la retención de carbono en su estructura aérea y la retención de material particulado en sus hojas, estos servicios varían en cantidad dependiendo de la especie vegetal, por esta razón los objetivos de esta investigación fueron analizar la diversidad funcional, estimar el carbono mediante ecuaciones alométricas y la cantidad de particulados presentes en especies leñosas a orillas de los cuatro biocorredores de los ríos en la zona urbana de Cuenca, Azuay. Las mediciones se realizaron en tres parcelas establecidas al azar en cada uno de los 4 ríos de la zona urbana de Cuenca, identificando especies, midiendo los factores número de individuos, altura, diámetro a la altura del pecho y material particulado, áreas foliares. Los resultados obtenidos en la diversidad de especies manifiestan un total de 327 individuos muestreados, en un total de 16 familias botánicas, de los cuales *Eucalyptus globulus* resultó la especie predominante en los ríos de Cuenca con un 63,9% de los datos levantados y una diversidad alfa media y baja de las riberas de los ríos Cuenca muestreadas. *Ligustrum japonicum* fue la especie que presentó una mayor captación de material particulado en las hojas con 16,03 mg/cm<sup>2</sup>. Finalmente, la especie *Eucalyptus globulus* presentó la mayor captación de carbono en su estructura aérea con 699,27 kg/planta.

*Palabras clave:* diversidad de especies, evaluación de reservas de carbono, material particulado, ríos



El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Cuenca ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por la propiedad intelectual y los derechos de autor.

**Repositorio Institucional:** <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

### Abstract

Urban vegetation complies with various ecosystem services used by humans, such as carbon retention in its aerial structure and the retention of particulate material in its leaves, these services vary in quantity depending on the plant species, for this reason reason. The objectives of this research were to analyze functional diversity, estimate carbon through allometric equations and the amount of particulates present in woody species on the banks of the four river biocorridors in the urban area of Cuenca, Azuay. Measurements were made in three randomly established plots in each of the 4 rivers in the urban area of Cuenca, identifying species, measuring the factors number of individuals, height, diameter at breast height and particulate matter, leaf areas. The results obtained in the diversity of species show a total of 327 sampled individuals, in a total of 16 botanical families, of which *Eucalyptus globulus* was the predominant species in the rivers of Cuenca with 63.9% of the data collected and a Medium and low alpha diversity of the banks of the Cuenca rivers sampled. *Ligustrum japonicum* was the species that presented a greater uptake of particulate matter in the leaves with 16.03 mg/cm<sup>2</sup>. Finally, the species *Eucalyptus globulus* presented the highest carbon uptake in its aerial structure with 699.27 kg/plant.

*Keywords:* species diversity, evaluation of carbon reserves, particulate matter, rivers



El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Cuenca ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por la propiedad intelectual y los derechos de autor.

**Repositorio Institucional:** <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

**Índice de contenido**

Introducción .....	11
Objetivos .....	13
2.2 Objetivos específicos .....	13
Hipótesis .....	14
3.1 Carbono .....	14
3.2 Particulados .....	14
Revisión bibliográfica.....	15
4.1 Contaminación ambiental.....	15
4.2 Biocorredores .....	15
4.4 Carbono en especies leñosas.....	16
4.5 Carbono alométrico .....	17
4.6 Material particulado .....	17
4.7 Calidad de aire en cuenca .....	18
Materiales y métodos .....	18
5.1 Zona de estudio.....	18
5.2 Materiales y equipos .....	18
5.3 Métodos .....	19
5.3.1 Diseño Experimental .....	19
5.3.2 Metodología para el objetivo 1: Calcular la abundancia y riqueza de especies leñosas presentes en las zonas de estudio. ....	22
5.3.3 Metodología para el objetivo 2: Estimar la cantidad de material particulado que retienen las diferentes especies leñosas de acuerdo a sus características foliares (área foliar).....	24
5.3.4 Metodología para el objetivo 3: Obtención de la biomasa aérea y mediante el uso de ecuaciones alométricas del carbono aéreo de las especies leñosas presentes en el área de estudio. ....	25

5.4 Análisis de datos .....	26
5.4.1 Calcular la abundancia y riqueza de especies leñosas presentes en las zonas de estudio. ....	26
5.4.2 Estimar la cantidad de material particulado que retienen las diferentes especies leñosas de acuerdo a sus características foliares (área foliar).....	26
5.4.3 Obtención de la biomasa aérea y mediante el uso de ecuaciones alométricas el carbono aéreo de las especies leñosas presentes en el área de estudio. ....	26
5.4.4 Análisis de correlación .....	27
Resultados.....	27
6.1 Calcular la abundancia y riqueza de especies leñosas presentes en las zonas de estudio. ....	27
6.4 Análisis de correlación .....	36
Correlación entre la cantidad de carbono capturado y la diversidad de especies leñosa.....	36
Correlación entre la cantidad de particulados retenidos con las características foliares de las especies en estudio (área foliar).....	40
Discusión .....	41
7.1 Calcular la abundancia y riqueza de especies leñosas presentes en las zonas de estudio. ....	41
7.2 Estimar la cantidad de material particulado que retienen las diferentes especies leñosas de acuerdo a sus características foliares (área foliar).....	42
7.3 Obtención de la biomasa aérea y mediante el uso de ecuaciones alométricas el carbono aéreo de las especies leñosas presentes en el área de estudio. ....	43
7.4 Correlaciones .....	44
Correlación entre la cantidad de carbono capturado y la diversidad de especies leñosa.....	44
Correlación entre la cantidad de particulados retenidos con las características foliares de las especies en estudio (área foliar).....	44
Conclusiones .....	45
Recomendaciones.....	47

Referencias.....	48
Anexos .....	56

## Índice de figuras

Figura 1. Distribución de parcelas dentro de la zona urbana de Cuenca en donde se establecieron las parcelas.....	20
Figura 2. Parcelas ubicadas en el río Tarqui .....	21
Figura 3. Parcelas ubicadas en el río Yanuncay .....	21
Figura 4. Parcelas ubicadas en el río Tomebamba. ....	22
Figura 5. Parcelas ubicadas en el río Machángara .....	22
Figura 6. Dominancia de las especies arbóreas de los sitios de estudio. ....	30
Figura 7. <i>Correlación entre la captura de carbono y biomasa arbórea.</i> .....	37
Figura 8. Correlación de Carbono - número de especies y Carbono - altura (h).....	38
Figura 9. <i>Correlaciones de carbono frente a dap y N frente a dap</i> .....	39
Figura 10. Correlación entre Material particulado y área foliar .....	40

## Índice de tablas

Tabla 1. Materiales y equipos .....	19
Tabla 2. Detalle del establecimiento de parcelas. ....	20
Tabla 3. Especies encontradas en las riberas del Río Tarqui. ....	27
Tabla 4. Especies encontradas en las riberas del Río Yanuncay .....	28
Tabla 5. Especies encontradas en las riberas del Río Tomebamba. ....	28
Tabla 6. Especies encontradas en las riberas del Río Machángara. ....	29
Tabla 7. Índice de Shannon de la zona urbana de los cuatro ríos de Cuenca .....	30
Tabla 8. Índice de similitud de Sorensen de la zona urbana de los cuatro ríos de Cuenca .....	31
Tabla 9. Prueba de Kruskal Wallis aplicada a las especies y su retención de material particulado. ....	31
Tabla 10. Prueba de <i>Kruskal</i> Wallis aplicada a las especies y las Partículas sólidas totales (PST). ....	33
Tabla 11. Prueba de Kruskal Wallis aplicados a las especies y su almacenamiento de carbono. .....	35



## Agradecimientos

Agradezco a Dios por permitirme la vida, la salud y la bendición de compartir mis desafíos y luchas darías junto a mi familia,

Gracias a mi familia que han sido la luz y el pilar fundamental a lo largo de toda mi vida, que han sido mis mayores promotores para continuar cada día, siguiendo su ejemplo. A Uds mis padres y hermanas por siempre aportar en mi camino con apoyo e impulsarme a salir adelante. Gracias a mi hijo y mi marido por hacer de esta una experiencia única y apoyarme a lo largo de todo este proceso y apoyarme en mi crecimiento personal.

De manera especial a mi tutor de tesis Ing. Pedro Zea Dávila por el apoyo y guía en la realización de este trabajo brindándome con paciencia su conocimiento y tiempo durante todo el periodo de trabajo.

**Karina Inga**

## **Dedicatoria**

Esta investigación está dedicada a mis padres Israel Inga y Catalina Ayavaca quienes con su esfuerzo y dedicación han estado siempre presentes educándose y buscando siempre lo mejor, gracias a Uds se cumple una meta muy importante para mí en mi vida. A mis hermanas que gracias a su apoyo incondicional que me brindaron a lo largo de toda mi vida y siempre estarán para mí. A Thomy y Bryam por todo este tiempo de esfuerzo, soporte y confianza que me han sido para mí a lo largo de este proyecto.

**Karina Inga**

## Introducción

La diversidad funcional de especies leñosas de un ecosistema es un tema de análisis, que trata de relacionar en medida la cantidad de beneficios que nos ofrece una especie leñosa en relación a otra, y la medida en la que esta se encuentra en el ecosistema (Tilman, 2001), generando así información que nos permita aumentar el conocimiento e identificar las especies que nos generen un mayor beneficio (López et al., 2007), para todo esto debemos tomar en cuenta que al hablar de funcionalidad de especies en un lugar determinado englobamos muchas características, que desde luego, su uso nos da una respuesta a variables ambientales, y es usado también como predictor del funcionamiento de las comunidades (Leps et al., 2006).

Los investigadores indagan sobre temas como la diversidad funcional arbórea de un determinado ecosistema, con el fin de generar mayor información sobre el cambio climático y la contaminación del medio ambiente (IPCC, 2002), implementando objetivos de desarrollo sostenible, enfocados en la calidad del aire y gestión de desechos, para reducir los impactos negativos per cápita de las ciudades hasta el año 2030 (FECHAC, 2021), estos últimos conceptos mencionados representan unas de las principales amenazas a nivel mundial, en gran parte por la emisión de gases de efecto invernadero que provoca un aumento en la temperatura, debido a que retienen el calor que emite la Tierra.

Entre los gases más importantes emitidos a la atmósfera se encuentra el Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) (Haines & Patz, 2004), el cual representa un 76,7% de la concentración de estos gases en la atmósfera (IPCC, 2007). Datos recientes emitidos por la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos (NOAA), muestran que en porcentaje, el mes de abril de 2020 presentó las concentraciones de CO<sub>2</sub> más altas desde que comenzaron sus mediciones en 1958 (ONU, 2020), y por su parte EMOV EP (2021) menciona a Dióxido de Nitrógeno, Material particulado, Dióxido de Azufre, Monóxido de Carbono, Compuestos orgánicos volátiles y Ozono troposférico como los contaminantes del aire, siendo el material particulado un contaminante que afectan los pulmones, sistema cardiovascular y cerebro. Es por esto que en este trabajo se refiere a la retención de carbono en forma de biomasa y la retención de particulado en las hojas de los árboles.

En Ecuador se han registrado aumentos del 60 al 70% de emisiones de Dióxido de Carbono como resultado de las actividades antrópicas y, se espera que para el 2025 exista un aumento del 80% de este compuesto (Hubenthal, 2010). Las actividades antrópicas van en aumento en el intento de urbanizar más territorio ecuatoriano, alcanzar nuevas rutas de carretera para llegar a todas las ciudades, el consumo de materia prima para las industrias, que afectan al suelo

biológico de nuestro país y, por ende, a nuestro medio ambiente (MEA, 2005). En este sentido, existen estudios como el de Cobeña & Gonzales (2020) y Zambrano et al. (2022), que ratifican que las actividades antrópicas en Ecuador producen contaminación en fuentes de agua, especialmente las que están ubicadas en la costa ecuatoriana.

Por otra parte, la ciudad de Cuenca es el mayor consumidor de energía per cápita en el Ecuador, lo que le atribuye también a ser una de las ciudades que provocan una mayor emisión de contaminantes a la atmósfera (Feijoó, 2019). Además, el creciente desarrollo económico, que busca la ciudad, hace que la contaminación aumente también. Este hecho, es corroborado por Samaniego et al., (2012), puesto que, en su estudio sobre la relación entre economía y contaminación el crecimiento económico hace que las políticas busquen el desarrollo de energía, a la vez que perjudica a los ecosistemas naturales, y del medio ambiente, por ello evaluar el contenido de carbono en especies forestales es clave (Dixon et al., 1994), ya que estas se presentan como una manera de mitigar el problema, mediante la absorción de este gas, actuando como captadoras de fotosíntesis y lo fijan en su estructura viva durante su crecimiento, constituyéndose, así como reservas sumamente importantes (Vázquez & Arellano, 2012).

En concordancia con lo expuesto, los estudios sobre la ecología de un determinado sector se han abordado desde dos enfoques, tomando por separado el tema de biodiversidad y el tema de funcionalidad; por lo que la presente investigación trata de analizar estas dos temáticas en conjunto, estableciendo parcelas en los biocorredores de los ríos que están situados en la zona urbana de la ciudad de Cuenca. Este análisis se llevó a cabo con la estimación del carbono mediante ecuaciones alométricas y la cantidad de particulados presentes en especies leñosas. El primer paso para este procedimiento fue realizar el cálculo de la abundancia y riqueza de especies leñosas presentes en las zonas de estudio. Luego se recurrió a la estimación de la cantidad de particulados que retienen las diferentes especies leñosas, de acuerdo a sus características foliares como el área foliar. Posterior a estas actividades, la investigación finaliza con el cálculo de la retención de carbono en la biomasa del espécimen, mediante el uso de ecuaciones alométricas.

Todas las actividades realizadas tienen un fin en común de interés en la presente investigación. Este fin es determinar las hipótesis enfocadas en el carbono que se planteó como una relación entre carbono capturado y diversidad de especies y la hipótesis enfocada en la relación de cantidad particulados retenidos con el área foliar, con la finalidad de contribuir con información sobre la diversidad de especies, retención de carbono aéreo y material particulado retenido en las hojas de especies leñosas en las riberas de los ríos de Cuenca.

## Objetivos

### 2.1 Objetivo general

Analizar la diversidad funcional, estimar el carbono mediante ecuaciones alométricas y la cantidad de particulados presentes en especies leñosas a orillas de los cuatro biocorredores de los ríos en la zona urbana de Cuenca, Azuay.

### 2.2 Objetivos específicos

Calcular la abundancia y riqueza de especies leñosas presentes en las zonas de estudio.

Estimar la cantidad de particulados que retienen las diferentes especies leñosas de acuerdo a sus características foliares (área foliar).

Obtener la biomasa y mediante el uso de ecuaciones alométricas el carbono de las especies leñosas presentes en el área de estudio.

## Hipótesis

### 3.1 Carbono

**Hipótesis nula H<sub>0</sub>:** No existe una relación entre la cantidad de carbono capturado y la diversidad de especies leñosas presentes en las zonas de estudio.

**Hipótesis alternativa H<sub>a</sub>:** Existe una relación entre la cantidad de carbono capturado y la diversidad de especies leñosas presentes en las zonas de estudio.

### 3.2 Particulados

**Hipótesis nula H<sub>0</sub>:** No existe relación entre la cantidad de particulados retenidos con las características foliares (área foliar) de las especies en estudio.

**Hipótesis alternativa H<sub>a</sub>:** Existe relación entre la cantidad de particulados retenidos con las características foliares de las especies en estudio (área foliar).

## Revisión bibliográfica

### 4.1 Contaminación ambiental

La contaminación que es la introducción de agentes biológicos, químicos y físicos a un medio al que no pertenece y que produce daños al ecosistema, estos daños pueden ser irreversibles y afectan a la salud desencadenando sobre todo con enfermedades respiratorias y cardiovasculares causadas por la polución del aire (Julio et al., 2021).

En la actualidad, la contaminación por la combustión de hidrocarburos (gasolinas, gas y diésel), de los automotores es el primer causante de la contaminación del aire en las ciudades de los países industrializados, mientras que las plantas industriales poco eficientes lo son para los países en vías de desarrollo (Antunez & Guaboquiza, 2019).

Todo esto es el resultado de actividades antropogénicas que producen cambios en el medio ambiente local como la acumulación de gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y el metano, entre otros, estos tienen efectos sobre la temperatura de la tierra, como un ejemplo de esto es que la temperatura ha aumentado un 0,6 °C aproximadamente en las últimas tres décadas, o el tiempo que el CO<sub>2</sub> reside en la atmósfera que excede los 100 años, por lo cual, lo que hoy se haga en la tierra tendrá repercusiones en las futuras generaciones (González et al., 2014).

### 4.2 Biocorredores

La ciudad de Cuenca crece a un ritmo acelerado desde el año 1950, este crecimiento urbano genera desequilibrios y desigualdades a nivel social, ecológico e interurbanas consumiendo gran cantidad del suelo periférico (Mejía, 2014). El concepto de biodiversidad urbana integra genes, especies y hábitats en una interacción asociada a valores humanos, éticos, estéticos y hasta socioeconómicos dentro de la ciudad (Tzoulas & James, 2010), el término “biocorredor” es utilizado de forma amplia para señalar los diversos mecanismos de conectividad de hábitats vinculados a esquemas de paisaje más amplios, que forman parte integral de una estrategia de ordenamiento territorial regional, basada en la ecología del paisaje, la conservación, rehabilitación y el uso sostenible de la biodiversidad y los servicios que genera. Es indiscutible que el establecimiento de los biocorredores constituye la opción idónea para alcanzar objetivos de conservación, producción de bienes y servicios ambientales, y desarrollo socioeconómico en un territorio determinado que se ven afectados por actividades como la industrialización, la minería, los desechos industriales, la emisión de gases tóxicos, entre otros (Ulloa, 2013).

### 4.3 Zona riparia

Se denomina zona riparia al espacio transitorio entre los medios acuáticos y terrestres, que además se caracteriza por que su composición está fuertemente ligado a factores como

intensidad lumínica, contenido de agua y la granulometría del suelo (Granados et al., 2006). De esta forma, las riberas constituyen uno de los sistemas ecológicos más complejos de la biósfera y uno de los más importantes para mantener la vitalidad del paisaje y sus ríos (Naiman & Décamps, 1990).

Las riberas de los ríos de Cuenca han sufrido alteraciones en su composición botánica a lo largo de los años, es así que la riqueza de los ríos de Cuenca registrada hasta el año 2015 fue de 256 especies de las cuales un 63% resultaron ser nativas, 32% son introducidas el 5% restante son endémicas (Minga & Verduga, 2016). En el caso específico de áreas verdes están dominadas por plantas de origen extranjero que dificultan el rescate de plantas nativas e incluso dificultan la presencia y desarrollo de animales propios de la región (RIMAY, 2004).

#### **4.4 Carbono en especies leñosas**

Los bosques forestales actúan como sumideros de dióxido de carbono capturando este gas de la atmósfera por medio de la fotosíntesis para luego acumular este carbono, fijándose en sus tejidos, acción que cumple un rol importante en la regulación del dióxido de carbono a niveles aceptables (Arrien et al., 2014). Para FAO (2022) los bosques contienen alrededor de 662 millones de toneladas de carbono, lo que resulta en más de la mitad de reserva de carbono en el mundo de suelos y vegetación, por lo que resultan también medios destacados contra lucha del cambio climático, estudios realizados entre 2011 y 2020 nos dan a conocer que pese a la disminución constante de la superficie por actividades antrópicas, los bosques absorbieron más carbono que el que emitieron, esto debido a planes de reforestación desarrollados, la mejora de gestión forestal y otros factores; por lo que se concluye en la alta intervención de bosques y árboles en la lucha contra el cambio climático. Numerosos países reconocen el potencial de mitigación de los bosques en sus contribuciones determinadas a nivel nacional (López et al., 2016).

Existen una gran diversidad de metodologías para la medición de carbono en la biomasa forestal, estas pueden ser clasificadas como destructivas directas y no destructivas por medio de mediciones de volumen (Fernández, 2017).

El método destructivo directo trata de determinar el peso seco de la biomasa de los fustes, ramas y hojas directamente mediante el corte de los árboles, de un área determinada (Fehse et al., 2002), mientras que el método no destructivo se obtiene a través del volumen calculando la densidad de la plantación para lograr esto se miden los diámetros, las alturas de los árboles y se calcula el área basal, también se puede calcular biomasa y posteriormente carbono por medio de modelos basados en análisis de regresión entre las variables colectadas en el terreno o en



inventarios forestales y sus correspondientes variables dependientes de biomasa (Russo, 2009).

Entre los métodos de cálculo mencionados se destacan los métodos indirectos basados en ecuaciones alométricas que permiten una estimación más confiable y directa de la biomasa, ya que en la misma ecuación se contempla la variabilidad presentada por los árboles como la edad, competencia y su crecimiento que refleja la productividad del sitio, además resultan más prácticos y menos costosos (Fonseca, 2017).

#### **4.5 Carbono alométrico**

La biomasa arbórea consiste en el estudio del cambio de proporción de varias partes de un organismo como resultado de su crecimiento (López, 1988), el concepto de alometría se ha utilizado para relacionar componentes o variables de difícil medición (biomasa y área foliar), con variables más fáciles de medir (altura, diámetro, área basal y área de albura), con el objeto de estimar las primeras variables en función de las segundas; normalmente el parámetro del árbol que más se ha utilizado es el diámetro normal (Cano, 1993). El modelo alométrico se obtiene mediante un análisis de regresión específico para cada especie y cada parte del árbol (Schlegel et al., 2001).

Chave et al. (2014) compararon varios modelos alométricos obteniendo un único modelo alométrico pantropical que se mantenía en todos los tipos de vegetación tropical, sin ningún efecto detectable de la región o los factores ambientales. Este modelo funcionó bien en todos los tipos de bosques y condiciones climáticas, debido a que se incluyen las variables como biomasa arbórea, altura del árbol, diámetro de tronco y densidad de madera (según la especie vegetal).

#### **4.6 Material particulado**

El material particulado se refiere al conjunto de partículas sólidas y/o líquidas (con excepción del agua pura) presentes en suspensión en la atmósfera (Mezáros, 1999). Los árboles ornamentales urbanos mediante la intercepción directa de las partículas contaminantes del aire en sus hojas mitigan el efecto perjudicial de la contaminación atmosférica, mejorando de esa manera la calidad del aire (Ferriol et al., 2014), esta captura del material particulado es un servicio ecosistémico de la vegetación urbana especie-específico debido a las características fisiológicas, químicas y morfológicas de la planta, afectando significativamente su valor. La capacidad de retención depende principalmente de las características en la superficie de las hojas, tales como tricomas, rugosidad superficial, capa de cera epicuticular (Dzierzanowski et al., 2011).

El material particulado está constituido por partículas de diferentes diámetros, clasificadas como PM<sub>2,5</sub> a aquellas partículas con un diámetro aerodinámico menor a 2,5 micrones, y como PM<sub>10</sub>

a aquellas partículas con un diámetro aerodinámico menor o igual a 10 micrones (Moscoso et al., 2019).

Investigaciones realizadas en el Centro de Estudios Ambientales (CEA) de la Universidad de Cuenca, Ecuador determinaron que el material Sedimentable recolectado en el área urbana de la ciudad de Cuenca afectó al desarrollo del vegetal, no obstante, a ciencia cierta, se desconoce el efecto del PM10 sobre estos. De allí la importancia que adquieren los bioensayos llevados a cabo con especies terrestres, consideradas sensibles (Águila et al., 2013).

Generalmente las plantas disponen de altas superficies de unidad de volumen lo que aumenta la probabilidad de deposición proceso que difiere sustancialmente con el tamaño de partícula y los elementos presentes en la superficie de la hoja, es así que, aerosoles atmosféricos capturados por las hojas de las plantas pueden ayudar también en la identificación de sus fuentes debido a su generación por diferentes procesos. Las partículas de más de 1  $\mu\text{m}$  y forma irregular provienen principalmente de fuentes naturales, mientras que las de menos de 1  $\mu\text{m}$ , esféricas e irregulares, proceden principalmente de fuentes antropogénicas La fracción de partículas más gruesas suele eliminarse durante las precipitaciones (Egas et al., 2018).

#### **4.7 Calidad de aire en cuenca**

El último informe emitido por EMOV 2021 sobre la calidad del aire en Cuenca durante el año 2021 nos redacta sobre el registro de 11 superaciones del valor guía de la OMS en 24 horas (45  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), por otro lado se registró una concentración media anual de 30.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y aunque las concentraciones fueron menores al nivel de la NCAA (50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), se superó el reciente valor guía de la OMS 2021 (15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) en material particulado menor a 10 micras (EMOV, 2021). En cuanto al análisis de material particulado menor a 2.5 micras los promedios anuales fueron menores a los establecidos por la Norma de calidad del aire NCAA (15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), aunque mayores al valor guía 2021 de la OMS (5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (EMOV, 2021).

### **Materiales y métodos**

#### **5.1 Zona de estudio**

La presente investigación se llevó a cabo en 12 parcelas establecidas en las zonas riparias de los biocorredores de los ríos dentro de la zona urbana de Cuenca - Azuay, la cual se encuentra a una altura de 2 538 m.s.n.m, con temperaturas que oscilan entre los 14°C y los 18°C.

#### **5.2 Materiales y equipos**

Los materiales y equipos utilizados para el desarrollo de la investigación, son los presentados en la siguiente tabla (Tabla 1).

**Tabla 1. Materiales y equipos**

<b>Materiales y equipos</b>			
<b>De campo</b>	<b>De laboratorio</b>	<b>De oficina</b>	<b>Material biológico</b>
Clinómetro	Agua destilada	Computadores	
Metro y cinta métrica	Estufa de aire forzado	Software ImageJ, Excel, Word y GPS Essentials	
Piola	Balanza de precisión	Cuaderno de campo	Especies vegetales leñosas
Spray de color rojo	Bandejas de aluminio	Cámara	
Tijera de podar y telescópica	Pincel de cerda fina	Software R	
Bolsas de papel	Papel aluminio	Cinta masking	

## 5.3 Métodos

### 5.3.1 Diseño Experimental

Se requirió establecer tres parcelas en cada uno de los cuatro ríos de Cuenca (Tarqui, Yanuncay, Tomebamba y Machángara) y dentro de las mismas se tomaron los datos respectivos para cada una de las tres metodologías planteadas, para la ubicación de las parcelas se obtuvo la muestra con un 5% de error, para conocer el trayecto que debería ser estudiado tomando en cuenta la sumatoria de la longitud de los cuatro ríos, obteniendo como resultado un total 383 m de longitud para ser muestreados, esta longitud fue segmentada para 12, con la finalidad de obtener el largo de cada una de las 12 parcelas que fueron establecidas, esta longitud final fue de 31,91 m; enfocando a la investigación a obtener información de los dos lados del río se dispuso un ancho de parcela de 5 m a cada uno de los lados de los ríos, quedando finalmente parcelas que atraviesan el río con un área de 31,91m x 10m.

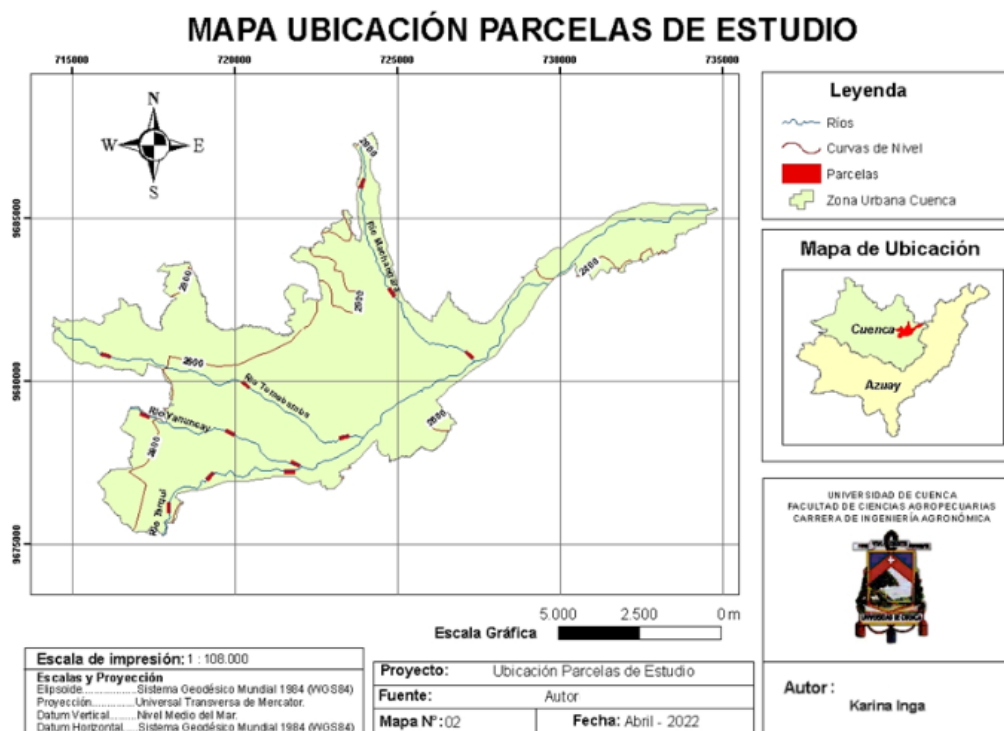
Para el posicionamiento de las parcelas se realizó un Diseño Completamente al Azar (DCA), el cual se basó en la longitud de los ríos antes de interceptarse y se encuentran dentro de la zona urbana de la ciudad, a esta longitud se la dividió en tres tramos como el número de parcelas que se va a ubicar, evitar el encuentro de parcelas en la intersección de ríos se tomó una distancia

de 30 m luego de la intersección para el establecimiento de las primeras parcelas obteniendo (Tabla 2):

**Tabla 2.** Detalle del establecimiento de parcelas.

RÍO	Longitud total (m)	Separación entre parcelas (m)	Área muestreada (m <sup>2</sup> )
Tarqui	6087	1521	159.55
Yanuncay	5975	1493	159.55
Tomebamba	10836	2709	159.55
Machángara	8528	2132	159.55

A continuación (figura 2), se muestra gráficamente la distribución de las doce parcelas establecidas, las cuales cumplen con los requerimientos de ubicación, espacio y medidas planteadas.



**Figura 1.** Distribución de parcelas dentro de la zona urbana de Cuenca en donde se establecieron las parcelas

A lo largo de las riberas del Río Tarqui delimitadas dentro de la zona urbana de Cuenca se establecieron tres parcelas, en las zonas de Guzho (a), Facultad de Agronomía – Universidad de

Cuenca (b) y Jardín Botánico (c), en estos lugares se levantó información para las tres metodologías requeridas, levantando información a ambos lados de los ríos a excepción de la parcela en la Facultad de Agronomía debido a la ausencia de vegetales en uno de los lados del río (Figura 3).



**Figura 2.** Parcelas ubicadas en el río Tarqui

Por otra parte, en las riberas del Río Yanuncay delimitadas dentro de la zona urbana de Cuenca se establecieron tres parcelas, en las zonas de Puente de Misicata (a), Reloj Floral (b) y Jardín Botánico (c), en estos lugares se levantó información para las tres metodologías requeridas, levantando información a un solo lado del río en las parcelas del puente de Misicata y la parcela cercana al Jardín Botánico debido a la falta de vegetación en la parte frontal (Figura 4).



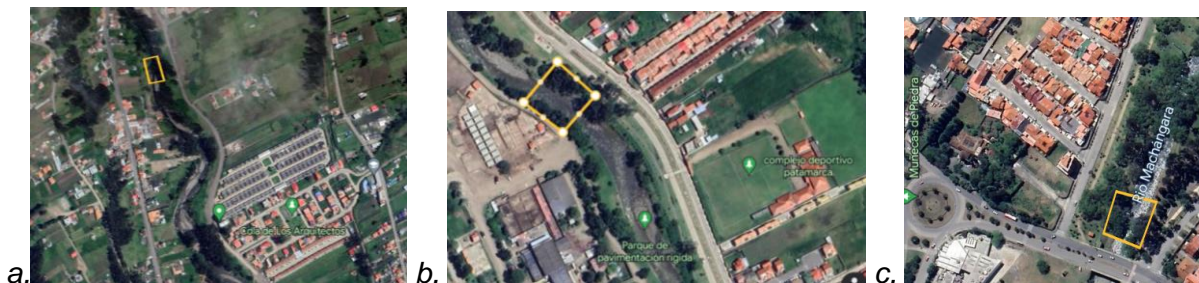
**Figura 3.** Parcelas ubicadas en el río Yanuncay

En el caso del Río Tomebamba se establecieron tres parcelas, en las zonas de Río Amarillo (a), Camal Municipal de Cuenca (b) y Redondel de las muñecas de Piedra (c), en estos lugares se levantó información para las tres metodologías requeridas, levantando información a ambos lados del río (Figura 5).



**Figura 4.** Parcelas ubicadas en el río Tomebamba.

A lo largo de las riberas del Río Machángara delimitadas dentro de la zona urbana de Cuenca se establecieron tres parcelas, en las zonas de Capulíes (a), Camal Municipal de Cuenca (b) y Redondel de las Mujeres de Piedra (c), en estos lugares se levantó información para las tres metodologías requeridas, levantando información a ambos lados de los ríos (Figura 6).



**Figura 5.** Parcelas ubicadas en el río Machángara

Antes de la toma de datos se solicitaron los permisos correspondientes a la Empresa Pública Municipal de Aseo de Cuenca (EMAC EP) en donde se describió el proceso a realizar para la toma de datos los cuales no fueron invasivos ni destructivos para el paisaje.

### 5.3.2 Metodología para el objetivo 1: Calcular la abundancia y riqueza de especies leñosas presentes en las zonas de estudio.

Para cumplir este primer objetivo del cálculo de especies se procedió a realizar el conteo e identificación de cada una de las especies que se encontraban dentro de las parcelas delimitadas en una base de datos de campo, en el caso de las plantas las cuales no se conocía su nombre se procedió a tomar fotografías y muestras de flores y/u hojas etiquetándolas debidamente para su posterior identificación en la “Guía de árboles y arbustos de los ríos de Cuenca, Azuay - Ecuador” (Minga *et al.* 2016) , continuando la actividad se procedió con el etiquetado de los especímenes arbóreos con un spray rojo (para mejorar la visibilidad) .

Para el cálculo de la riqueza de especies presentes en cada uno de los ríos se utilizó el software Excel, en el cual se aplicó la diversidad alfa con el índice de Shannon-Wiener, que cuantifica la riqueza de especies como su abundancia, al emplear una escala logarítmica, para esto se utilizó la siguiente fórmula:

$$H = - \sum_{i=1}^s p_i * \ln p_i$$

Donde:

**S** = número de especies (la riqueza de especies).

**p<sub>i</sub>** = proporción de individuos de la especie, respecto al total de individuos (es decir la abundancia relativa de la especie):  $n_i / N$ .

**n<sub>i</sub>** = número de individuos de la especie.

**N** = número de todos los individuos de todas las especies

Se utilizó el criterio de Margalef (1972) para clasificar los resultados de Shannon Wiener el cual nos indica que el índice varía entre 1 a 5 interpretando a los valores menores de 2 como diversidad baja, de 2 a 3,5 como media y superiores a 3,5 como diversidad alta.

Prosiguiendo, recurrimos a calcular el índice Beta, con el cual se determinó el índice de similitud entre los ríos analizados dentro del casco urbano de Cuenca, para esto se utilizó el Índice de similitud de Sorensen.

$$\beta = \frac{2c}{S_1 + S_2}$$

Donde:

**S<sub>1</sub>** = el número de especies de la comunidad 1.

**S<sub>2</sub>** = el número de especies de la comunidad 2.

**c** = el número de especies comunes a ambas comunidades.

### 5.3.3 Metodología para el objetivo 2: Estimar la cantidad de material particulado que retienen las diferentes especies leñosas de acuerdo a sus características foliares (área foliar).

Para evaluar el particulado presente de las especies leñosas se procedió a extraer 10 hojas sanas de diferentes tamaños y en orientaciones al azar de cada uno de los especímenes de cada una de las parcelas establecidas, los datos fueron tomados los días 2 de febrero, 28 de marzo y 22 de mayo de 2023 debido a que no se presentaron periodos de lluvia mayores a 7 días; estas hojas fueron almacenadas en fundas de papel anteriormente etiquetadas y llevadas al laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Cuenca.

Para el manejo de las muestras dentro del laboratorio se guió en la metodología utilizada por Aponte (2017), inicialmente los envases de aluminio fueron lavados y puestos a secar por 20 minutos a 50 °C, luego se dejaron reposar hasta que se encuentren a una temperatura ambiente, seguido se etiquetaron los envases y se registró el peso de cada envase (peso inicial), para luego lavar las 10 muestras foliares con agua destilada y un pincel de cerdas finas dentro de los envases ya pesados anteriormente, una vez obtenidas las muestras y listas para llevar a la estufa se optó adicionalmente por colocar una tapa de papel aluminio con la finalidad de evitar que levanten las partículas de polvo dentro de la estufa por efecto del aire que emite, luego de esto se puso las muestras dentro de la estufa con un periodo de tiempo de 72 horas a una temperatura de 80 °C, finalmente transcurrido el tiempo de secado se sacaron las muestras hasta que estas tomen una temperatura ambiente para poder pesarlas y obtener la fracción sólida del material particulado que quedó como residuo, correspondiente al peso final.

Luego del lavado de las hojas se realizó la obtención de las áreas foliares de cada uno de las muestras, para esta estimación se utilizó el software libre *ImageJ*, para el cual se posicionaron todas las hojas de un mismo árbol/ muestra en una sola fotografía sobre un papel blanco el cual llevo como referencia numérica una escala en centímetros y mediante una escala binaria (blanco/negro), se calculó la proporción de niveles que pertenecen a las hojas dentro del área total de la imagen, obteniendo el Área Foliar (AF) de cada una de las hojas.

Para obtener los resultados del material particulado (MP) se aplicó la siguiente fórmula:

$$MP = (Pf - Pi)$$

Donde:

**MP** = Material Particulado retenido por cada árbol (mg).



**Pf** = Peso final del frasco en (mg).

**Pi** = Peso inicial del frasco en (mg).

Finalmente, para determinar las concentraciones de Partículas Sólidas Totales (PST) retenida por árbol muestreado, se utilizó la siguiente fórmula:

$$PST = MP / AF$$

Donde:

**PST** = partículas sólidas totales ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ).

**MP** = material particulado retenido por el árbol muestreado en ( $\mu\text{g}$ )

**AF** = sumatoria del área foliar de las 10 hojas tomadas del árbol muestreado ( $\text{cm}^2$ ).

### **5.3.4 Metodología para el objetivo 3: Obtención de la biomasa aérea y mediante el uso de ecuaciones alométricas del carbono aéreo de las especies leñosas presentes en el área de estudio.**

Para estimar la cantidad de biomasa aérea y carbono aéreo acumulado en las especies leñosas inicialmente dentro de la parcelas se tuvo que tomar en cuenta que se trabajaron únicamente con las especies que tuvieron un diámetro de tallo mayor a 10 cm, luego de esto en la base de datos creada en el cuaderno de campo se recogió la información de número de planta, nombre de la especie, datos 1 y 2 obtenidos con el clinómetro que posteriormente serán la altura del árbol, distancia del árbol y toma de datos del clinómetro y circunferencia del tronco o troncos. Luego con la ayuda de las bases de datos digitales Zanne et al. (2009) y Naula (2021) se logró obtener las densidades de madera de los especímenes y utilizarlos juntamente con los datos recolectados y obtener la biomasa arbórea aplicando la fórmula obtenida por Chave et al. (2014) detallada a continuación:

$$AGB = 0.0673 \times (\rho D^2 H)^{0.976}$$

**Donde:**

**AGB** = Biomasa arbórea (kg)

**D** = diámetro del tronco (cm)

**$\rho$**  = densidad de la madera ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )

**H** = altura total del árbol (m)

Finalmente, para obtener la estimación de carbono acumulado en la biomasa vegetal se hizo uso de la fórmula obtenida por Chave et al. (2014) detallada a continuación:

$$CA = AGB * 0,47$$

**Donde:**

**CA** = Carbono aéreo

**AGB** = Biomasa arbórea (kg)

## 5.4 Análisis de datos

### 5.4.1 Calcular la abundancia y riqueza de especies leñosas presentes en las zonas de estudio.

Mediante el software Excel se realizó el cálculo de la riqueza y abundancia de las especies presentes en las comunidades de estudio, para lo cual se tomó en cuenta el número de especies y su incidencia en las comunidades.

### 5.4.2 Estimar la cantidad de material particulado que retienen las diferentes especies leñosas de acuerdo a sus características foliares (área foliar).

Los datos recolectados fueron almacenados y trabajados con el programa Excel mediante la aplicación de las respectivas fórmulas, obteniendo así la cantidad de material particulado retenido en las hojas según la especie, estos datos posteriormente fueron sometidos a la prueba de Shapiro Wilk mediante el software R Studio en donde se analizó la normalidad de los datos, finalmente se aplicó la prueba de Kruskal Wallis para encontrar diferencias significativas entre la captación de material particulado entre las especies mediante el programa InfoStat.

### 5.4.3 Obtención de la biomasa aérea y mediante el uso de ecuaciones alométricas el carbono aéreo de las especies leñosas presentes en el área de estudio.

Los datos levantados fueron analizados mediante el programa Excel para posteriormente ser sometidos a la prueba de Kolmogorov Smirnov que permite conocer la normalidad y existencia o ausencia de variaciones significativas entre las especies estudiadas mediante el programa InfoStat de los datos obtenidos mediante el programa InfoStat, para luego realizar un análisis de datos con el software Rstudio.

#### 5.4.4 Análisis de correlación

Luego del análisis de datos se rechazaron las hipótesis nulas ( $H_0$ ) de carbono y particulado por lo que aceptan las hipótesis alternativas las cuales afirman una relación entre la cantidad de carbono capturado y la diversidad de especies leñosas, por lo que con ayuda del programa R Studio se realizaron correlaciones para encontrar posibles vínculos o relaciones entre las variables.

### Resultados

#### 6.1 Calcular la abundancia y riqueza de especies leñosas presentes en las zonas de estudio.

En las riberas del Río Tarqui estudiadas se encontró un total de 9 especies leñosas, 9 familias y un total de 87 individuos, de entre estos la especie dominante fue *Eucalyptus globulus* a la cual le pertenecía un 81,6% del total de individuos registrados, seguido por *Alnus glutinosa* que cuenta con un 5,7 % del total de individuos registrados, por otro lado, el resto de las especies encontradas registran un bajo porcentaje de presencia en la comunidad (Tabla 3).

**Tabla 3.** Especies encontradas en las riberas del Río Tarqui.

Nombre común	Nombre Científico	Familia	Porcentaje
Sauce llorón	<i>Salix babylonica</i>	Salicáceas	4,6
Guaylo	<i>Delostoma integrifolium</i>	Mimosaceae	1,1
Aliso	<i>Alnus glutinosa</i>	Betulaceae	5,7
Nogal	<i>Juglans regia</i>	Juglandaceae	1,1
Eritrina	<i>Erythrina edulis</i>	Fabaceae	1,1
Eucalipto	<i>Eucalyptus globulus</i>	Myrtaceae	81,6
Chirimoya	<i>Annona cherimola</i>	Annonaceae	1,1
Pino	<i>Pinus patula</i>	Pinaceae	2,3
Ciprés	<i>Cupressus macrocarpa</i>	Cupressaceae	1,1

En el biocorredor del Río Yanuncay se identificaron únicamente 4 especies, 3 familias y un total de 87 individuos, presentándose las tres especies en un porcentaje muy bajo en las parcelas

estudiadas, mientras que la especie *Eucalyptus globulus* se presenta en un 95,4% de la población total registrada (Tabla 4).

**Tabla 4.** Especies encontradas en las riberas del Río Yanuncay

Nombre común	Nombre Científico	Familia	Porcentaje
Eucalipto	<i>Eucalyptus globulus</i>	Myrtaceae	95,4
Mirto	<i>Ligustrum japonicum</i>	Myrtaceae	1,1
Sauce llorón	<i>Salix babylonica</i>	Salicáceas	2,3
Guasimo	<i>Viburnum rhytidophyllum Helms</i>	Adoxaceae	1,1

En las riberas del biocorredor del río Tomebamba se ha encontrado el mayor número de especies identificadas, registrando 14 especies y 9 familias en 66 individuos, la especie *Eucalyptus globulus* es la especie dominante en esta comunidad presentándose como un 31,8% de los individuos registrados (Tabla 5).

**Tabla 5.** Especies encontradas en las riberas del Río Tomebamba.

Nombre común	Nombre Científico	Familia	Porcentaje
Eucalipto	<i>Eucalyptus globulus</i>	Myrtaceae	31,8
Sauce llorón	<i>Salix babylonica</i>	Salicáceas	10,6
Capuli	<i>Prunus serótina</i>	Rosaceae	6,1
Eugenia	<i>Eugenia uniflora</i>	Myrtaceae	1,5
Fresno	<i>Tecoma stans</i>	Oleáceas	10,6
Huaual	<i>Myrcianthes rhopaloide</i>	Myrtaceae	1,5
Tilo	<i>Tilia platyphyllos</i>	Malvaceae	1,5
Acacia	<i>Acacia dealbata</i>	Fabaceae	1,5
Cepillo blanco	<i>Callistemon salignus</i>	Myrtaceae	10,6
Guaba	<i>Inga insignis</i>	Fabaceae	6,1
Huesito	<i>Pittosporum undulatum</i>	Malpighiaceae	6,1
Cedro de montaña	<i>Cedrela montana</i>	Meliaceae	3

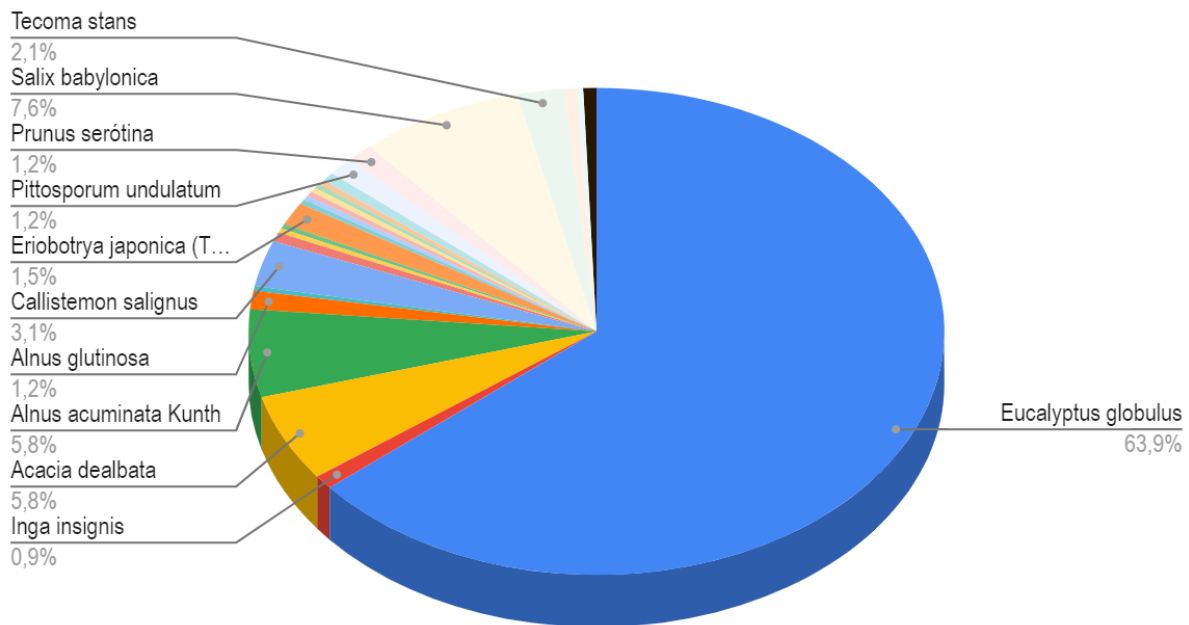
Aliso	<i>Alnus acuminata</i>	Betulaceae	1,5
Níspero	<i>Eriobotrya japonica (Thunb.) Lindl.</i>	Rosaceae	7,6

En las riberas del biocorredor del Río Machángara se registraron 87 individuos y aunque comparte el mayor número individuos juntamente con el Río Tarqui solamente se identificaron 6 especies, de estas la especie *Eucalyptus globulus* registra 40% del total de individuos, por otro lado 2 especies comparten familia botánica por lo que se diferenciaron 5 familias y finalmente encontramos a *Eucalyptus globulus* ocupando el 40 % de los individuos registrados (Tabla 6).

**Tabla 6.** Especies encontradas en las riberas del Río Machángara.

Nombre común	Nombre Científico	Familia	Porcentaje
Tilo	<i>Tilia platyphyllos</i>	Malvaceae	1
Aliso	<i>Alnus acuminata</i>	Betulaceae	20
Eucalipto	<i>Eucalyptus globulus</i>	Myrtaceae	40
Acacia	<i>Acacia dealbata</i>	Fabaceae	23
Sauce llorón	<i>Salix babylonica</i>	Salicáceas	13
Cepillo blanco	<i>Callistemon salignus</i>	Myrtaceae	3

En un análisis global de los datos registrados por especies encontradas en los 4 sitios de estudio se encontraron 327 individuos repartidas en 16 familias, de estas *Eucalyptus globulus* ocupa un 63,9% de los datos levantados en los ríos de Cuenca, seguidos por el *Salix babylonica* y la acacia que son especies que comparten un 8,8% de presencia en las riberas de las zonas urbanas de los ríos de Cuenca, y aunque *Eucalyptus globulus* y *Salix babylonica* se encuentran presentes en todas las comunidades muestreadas, *Acacia dealbata* se encuentra únicamente en las riberas de los ríos Tomebamba y Machángara (Figura 7).



**Figura 6.** Dominancia de las especies arbóreas de los sitios de estudio.

**Tabla 7.** Índice de Shannon de la zona urbana de los cuatro ríos de Cuenca

Diversidad alfa – Shannon		
Tarqui	0,82	diversidad baja
Yanuncay	0,23	diversidad baja
Tomebamba	2,21	diversidad media
Machángara	1,45	diversidad baja

Se evaluó el índice de Shannon para las riberas de los Ríos seleccionados obteniéndose valores menores a 2,5, es así que se obtuvo una diversidad baja en los 4 ríos entre estos el de menor diversidad presentada fue el río Yanuncay con un valor de 0,23, esto se debe, como ya se explicó anteriormente, que, aunque en este río existe una amplia cantidad de individuos, en su mayoría pertenecen a la especie *Eucalyptus globulus* y el río Tomebamba presenta diversidad media pese a contener el mayor número de especies muestreadas (Tabla 7).

Por otro lado se evaluó la similitud de especies entre los ríos estudiados, este índice nos indica que mientras valores más cercanos a uno se tenga mayor es la similitud entre ambas, es por

esto que obtuvimos un menor número de especies comunes encontrados entre los Ríos Yanuncay y Tomebamba con un valor de 0,06 en el Índice de Sorensen y aunque todos los valores restantes no son tan cercanos a uno, los ríos Tomebamba y Machángara que presentan el mayor índice de similitud entre ríos con un valor de 0,6 (Tabla 8).

**Tabla 8.** Índice de similitud de Sorensen de la zona urbana de los cuatro ríos de Cuenca

Ríos	Tarqui	Yanuncay	Tomebamba	Machángara
Tarqui		0,31	0,26	0,4
Yanuncay	0,31		0,06	0,4
Tomebamba	0,26	0,06		0,6
Machángara	0,4	0,4	0,6	

Se muestran los valores del índice de similitud obtenida por Sorensen

*Elaborado por: Autor, 2023.*

## 6.2 Estimar la cantidad de material particulado que retienen las diferentes especies leñosas de acuerdo a sus características foliares (área foliar).

Los datos de material particulado y partículas sólidas totales (PST) fueron analizados bajo la prueba de Kolmogorov Smirnov, el cual nos dio un valor de  $p < 0,0001$ , lo que nos indica existe significancia entre la cantidad de particulados receptados por las especies leñosas.

**Tabla 9.** Prueba de Kruskal Wallis aplicada a las especies y su retención de material particulado.

Especie	N	Medianas (mg)	Rango	H	P
<i>Inga insignis</i>	3	13,9	A	66,73 1	< 0,00001
<i>Myrcianthes rhopaloide</i>	1	5,8	A		
<i>Pinus patula</i>	2	8,6	A		
<i>Alnus acuminata Kunth</i>	19	35	A B		
<i>Alnus glutinosa</i>	4	44,65	A B		
<i>Callistemon salignus</i>	10	25,65	A B		

<i>Cupressus macrocarpa</i>	1	25,9	A B
<i>Erythrina edulis</i>	1	63,6	A B
<i>Eucalyptus globulus</i>	209	30,4	A B
<i>Eugenia uniflora</i>	1	19,1	A B
<i>Inga edulis</i>	1	37,9	A B
<i>Juglans regia</i>	1	58,8	A B
<i>Pittosporum undulatum</i>	4	73,65	A B
<i>Prunus serótina</i>	4	20,6	A B
<i>Salix babylonica</i>	25	13,8	A B
<i>Tecoma stans</i>	7	35,9	A B
<i>Tilia platyphyllos</i>	2	23,2	A B
<i>Annona cherimola</i>	1	67	AB
<i>Viburno rhytidophyllum Hel..</i>	1	43,3	AB
<i>Acacia dealbata</i>	19	82	B
<i>Acacia melanoxylon</i>	2	99,2	B
<i>Cedrela montana</i>	2	113,95	B
<i>Delostoma integrifolium</i>	1	181,8	B
<i>Eriobotrya japonica (Thunb..</i>	5	75	B
<i>Ligustrum japonicum</i>	1	1256,9	B

---

N= número de individuos y p= probabilidad.

Como resultado del análisis de Krustal Wallis en donde se comparó las especies y su recepción de material particulado en sus hojas se clasificó según las medianas de esta capacidad diferenciando tres grupos significativamente diferentes como A, AB y B , los individuos dentro de un grupo no son estadísticamente diferentes, con ( $p < 0,05$ ). Las especies que presentaron mayor captación de material particulado son a *Ligustrum japonicum* (1256,9 mg/ planta), *Delostoma*



*integrifolium* (181,8 mg/ planta) y *Cedrela montana* (113,95 mg/ planta) ubicadas en el grupo B. Las especies ubicadas en el grupo A con menor captación de carbono son de *Myrcianthes rhopaloides* (5,80 mg/ árbol), seguido de *Pinus patula* (8,6 mg/ planta), e *Inga insignis* (13,9 mg/ planta) (Tabla 9).

La especie *Eucalyptus globulus* (30,4 mg/planta) a pesar de estar altamente presente por su número de individuos no es representativa en la retención de material particulado (AB).

**Tabla 10.** Prueba de *Kruskal* Wallis aplicada a las especies y las Partículas sólidas totales (PST).

Espece	N	Medianas	D.E.	Rango
<i>Acacia dealbata</i>	19	0,38	0,50	A
<i>Acacia melanoxylon</i>	2	1,84	0,14	A
<i>Alnus acuminata Kunth</i>	19	0,13	0,11	A
<i>Alnus glutinosa</i>	4	0,16	0,08	A
<i>Annona cherimola</i>	1	0,15	0,00	A
<i>Callistemon salignus</i>	10	0,21	0,20	A
<i>Cedrela montana</i>	2	0,58	0,10	A
<i>Cupressus macrocarpa</i>	1	0,11	0,00	A
<i>Delostoma integrifolium</i>	1	0,79	0,00	A
<i>Eriobotrya japonica</i> (Thunb..)	5	0,32	0,16	A
<i>Erythrina edulis</i>	1	0,11	0,00	A
<i>Eucalyptus globulus</i>	209	0,08	0,68	A
<i>Eugenia uniflora</i>	1	0,21	0,00	A
<i>Inga edulis</i>	1	0,12	0,00	A
<i>Inga insignis</i>	3	0,10	0,02	A

<i>Juglans regia</i>	1	0,10	0,00	A
<i>Ligustrum japonicum</i>	1	16,03	0,00	A
<i>Myrcianthes rhopaloide</i>	1	0,26	0,00	A
<i>Pinus patula</i>	2	0,14	0,02	A
<i>Pittosporum undulatum</i>	4	0,54	0,65	A
<i>Prunus serótina</i>	4	0,09	0,15	A
<i>Salix babylonica</i>	25	0,34	0,63	A
<i>Tecoma stans</i>	7	0,26	0,08	A
<i>Tilia platyphyllos</i>	2	0,19	0,05	A
<i>Viburno rhytidophyllum</i> Hel..	1	0,34	0,00	A

Se realizaron también análisis de los datos de PST (Tabla 10) mediante el método Krustal Wallis y no se encontraron datos significativamente diferentes por lo que se ha asignado en el grupo (A) con  $p < 0,05$ , lo que representa que todas las especies cumplieron un rol importante en la captación de material particulado por  $\text{cm}^2$  de hoja. *Ligustrum japonicum* ( $16,03 \text{ mg/cm}^2$ ) y *Acacia melanoxylon* ( $1,84 \text{ mg/cm}^2$ ) poseen los valores más altos de material particulado retenido por  $\text{cm}^2$  de lámina foliar.

### **6.3 Obtención de la biomasa aérea y mediante el uso de ecuaciones alométricas el carbono aéreo de las especies leñosas presentes en el área de estudio.**

Al utilizar la prueba de normalidad de Kolmogorov Smirnov para analizar la normalidad del carbono retenido por las especies arbóreas se obtuvo un valor de  $p < 0,0001$  lo que nos indica que rechazamos la hipótesis nula de normalidad debido a que los datos no siguen una distribución normal.

**Tabla 11. Prueba de Krustal Wallis aplicados a las especies y su almacenamiento de carbono.**

Espece	N	Medianas	D.E.	Rango	H	P
<i>Annona cherimola</i>	1	5,85	0,00	A	148,21	<0,0001
<i>Cupressus macrocarpa</i>	1	4,13	0,00	A		
<i>Delostoma integrifolium</i>	1	1,38	0,00	A		
<i>Inga edulis</i>	1	3,90	0,00	A		
<i>Inga insignis</i>	3	18,07	6,32	A		
<i>Juglans regia</i>	1	3,56	0,00	A		
<i>Ligustrum japonicum</i>	1	5,56	0,00	A		
<i>Myrcianthes rhopaloide</i>	1	4,17	0,00	A		
<i>Pittosporum undulatum</i>	4	8,73	2,27	A		
<i>Viburno rhytidophyllum</i>	1	7,99	0,00	A		
<i>Acacia dealbata</i>	19	57,22	206,17	A B		
<i>Acacia melanoxydon</i>	2	46,16	59,89	A B		
<i>Alnus acuminata Kunth</i>	19	27,04	97,50	A B		
<i>Alnus glutinosa</i>	4	37,65	6,56	A B		
<i>Callistemon salignus</i>	10	52,13	184,53	A B		
<i>Cedrela montana</i>	2	18,87	11,91	A B		
<i>Eriobotrya japonica</i> (Thunb..)	5	32,45	19,56	A B		
<i>Erythrina edulis</i>	1	22,51	0,00	A B		
<i>Eugenia uniflora</i>	1	14,29	0,00	A B		

<i>Pinus patula</i>	2	147,34	89,97	A B
<i>Prunus serótina</i>	4	41,54	9,89	A B
<i>Salix babylonica</i>	25	90,74	1405,27	A B
<i>Tecoma stans</i>	7	174,25	91,93	A B
<i>Tilia platyphyllos</i>	2	31,60	43,64	A B
<i>Eucalyptus globulus</i>	20	699,27	3831,42	B
	9			

---

N= número de individuos, D. E= desviación estándar, p= probabilidad.

Aplicando el test de comparación de Kruskal-Wallis se llegó a observar diferencias estadísticamente significativas entre la retención de carbono almacenado en las especies ( $p < 0,05$ ) posicionando estas especies en tres grupos A, AB y B. *Eucalyptus globulus* presentó la mayor media en la retención de carbono con 699,27 kg /planta, las especies *Tecoma stans* y *Pinus patula* también presentan altos valores de las medianas en su retención de carbono almacenado con 174,25 y 147,34 kg/planta, *Delostoma integrifolium* y *Juglans regia* fueron las especies que presentan menor almacenamiento de carbono con una mediana de 1,38 y 3,56 kg/planta respectivamente

#### 6.4 Análisis de correlación

##### Correlación entre la cantidad de carbono capturado y la diversidad de especies

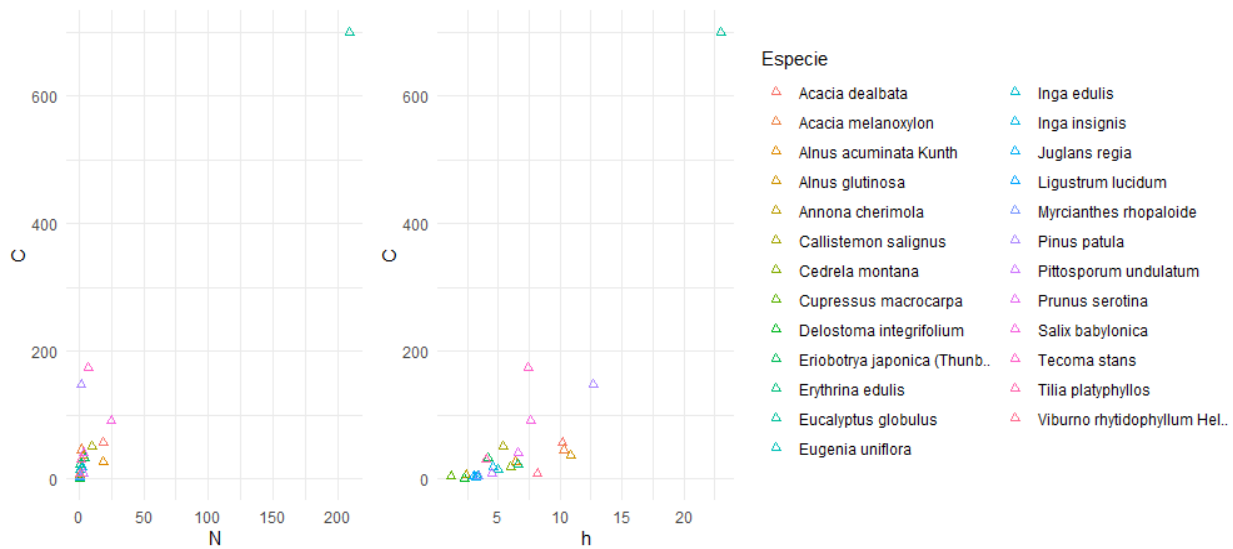
###### leñosa

Se realizó una prueba de Spearman a los valores de las medianas de biomasa, carbono, diámetro a la altura del pecho (dap), altura (h) y número de especies (N) obteniendo valores de correlaciones significativas tal es el caso de carbono y biomasa que presentan una correlación alta con un  $k=1$  y un valor de  $p = 2,72e-06$  es decir que el valor de C depende 100% de la biomasa, mientras mayor sea la biomasa mayor retención de carbono obtendremos en la especie leñosa (Figura 8).



**Figura 7.** Correlación entre la captura de carbono y biomasa arbórea.

Las variables número de especies (N) y Carbono retenido (Carbono) presentan una alta correlación  $k=0,81$  con  $p=1.37e-04$  en donde destaca *Eucalyptus globulus* con la mayor captura de carbono con 699,27 kg y mayor cantidad de especies  $N=209$ . En la correlación realizada de las variables altura (h) y carbono retenido (Carbono) aunque en los datos se evidencia con mayor dispersión visual se hace notorio que la altura del árbol influencia en la captura de Carbono, *Eucalyptus globulus* es la especie con el valor de la mediana con mayor de altura, habiendo alcanzado una altura de 23 m y mayor retención de carbono (figura 9).



**Figura 8.** Correlación de Carbono - número de especies y Carbono - altura (h)

En caso de diámetro a la altura del pecho, se presentan correlaciones con biomasa, carbono y número de especies, al ser biomasa y carbono datos dependientes, se evaluaron en este y todos los casos, únicamente con los valores de carbono; en cuestión de retención carbono y diámetro a la altura de pecho (dap ) (figura 10) presenta valores con una correlación alta con valores  $k=0,84$  y  $p = 7.44e-05$ , la especie que mayor valor en sus medias presentó fue *Eucalyptus globulus* con  $C=699,27$  kg y un dap de 42,34 cm, estos valores de las medias pueden verse afectados también por la altura de las especies la cual influye directamente en la obtención de la biomasa y carbono de una especie leñosa.

Al vincular el diámetro a la altura del pecho (dap) y número de especies su valor  $K=0,67$  y valor  $p= 1.61e-03$  nos muestran una correlación positiva media (figura 10), en donde se puede visualizar que existe una mayor probabilidad de obtener especies con mayor diámetro a la altura del pecho mientras más muestras o números de individuos tomadas por especie existan, como lo es con el caso de *Eucalyptus globulus* el cual posee el mayor número de individuos (209) y un mayor diámetro a la altura del pecho (42,34 cm). Cabe recalcar que estos resultados también se ven altamente influenciados por otros factores relacionados a las características mismas de las especies como son la altura y densidad de la madera e incluso al estado de desarrollo en el que se encuentren, está discrepancia la podemos observar en el caso de *Salix babilónica* y *Tilia platyphyllos* con  $dap= 38,52$  y  $39,15$  cm respectivamente, pese a que *Tilia platyphyllos* posee un bajo número de muestras (7) presenta un valor de dap cercano al de *Salix babilónica* (figura 10).

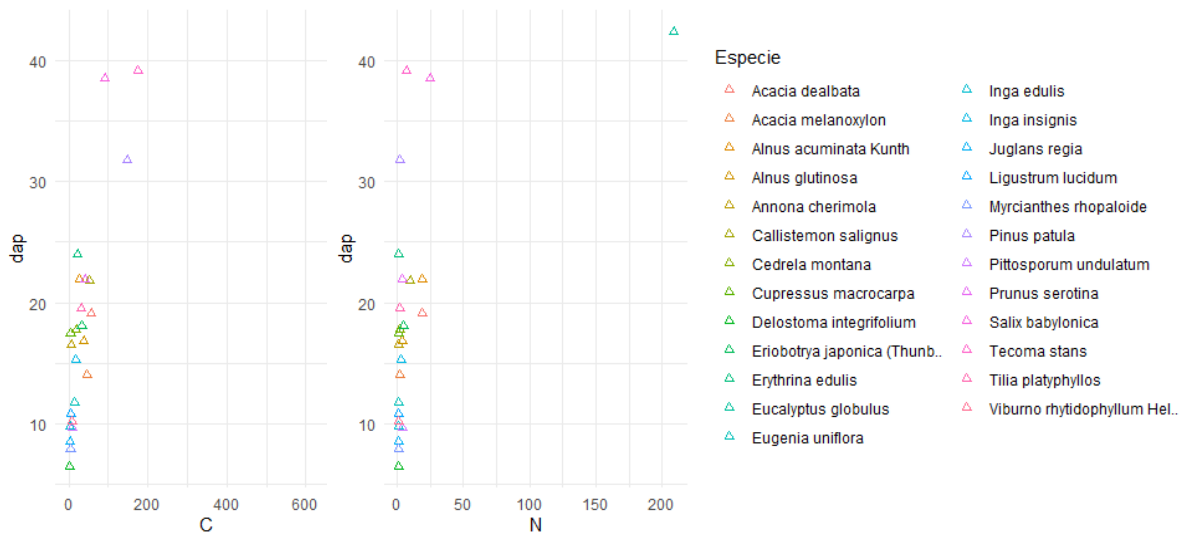


Figura 9. Correlaciones de carbono frente a dap y N frente a dap

Se analizó también la relación entre el número de especies encontradas por río y el carbono almacenado en cada una de las 4 parcelas obteniendo los valores de correlación  $k= 0,77$  y  $p= 0,43$ , los valores de  $p$  no son estadísticamente significativos. El río Tomebamba presentó el menor número especies y un valor bajo de carbono almacenado por las especies vegetales, y aunque los ríos Machángara, Tarqui y Yanuncay comparte un mismo número de especies la cantidad de Carbono almacenado es diferente; desde otro punto de vista, se podría inferir que la diversidad de especies dentro de una parcela modifica ampliamente su capacidad de retención de carbono ya que, si se observan los resultados obtenidos en el Río Yanuncay el cual posee la diversidad alfa más baja (0,23), este también posee una mayor correlación entre número de especies y carbono almacenado. Esto se puede atribuir a que en este río más del 80% de sus especies se compone de *Eucalyptus globulus* especie que por resultados anteriormente obtenidos fue la de mayor importancia en la captura de carbono en forma de biomasa, es decir que la diversidad de especies si afecta la cantidad de carbono capturado, de ahí que, existen especies que retienen menor cantidad de carbono dentro de las zonas de estudio (ríos) y por ende disminuyen el almacenaje de carbono, pese a que exista una igual abundancia de especies.

**Correlación entre la cantidad de particulados retenidos con las características**

**foliares de las especies en estudio (área foliar).**

Esta correlación realizada entre la cantidad de material particulado en mg retenida por las hojas de los árboles en relación con el área de las hojas que almacenan este material nos proporcionó un valor de correlación bajo  $k=0,51$  y un valor de  $p= 0.015$ , por lo observado (Figura 11) podemos deducir que esta correlación positiva sigue una tendencia más bien lineal en la cual la cantidad de material particulado retenido en las hojas no se ve muy afectado por el área foliar sin embargo, se aprecia una notoria excepción en el caso de la especie *Ligustrum japonicum* la cual nos muestra su gran contenido de material particulado (1256,9 mg) pese a que sus hojas formen parte del grupo de menor área foliar (78,416 cm<sup>2</sup>). Es el caso también de *Delostoma integrifolium*, especie que no presenta una media representativa de su área foliar (228,48 cm<sup>2</sup>), no obstante, posee un segundo lugar en cuanto a la captación de material particulado en sus hojas (181,8 mg), caso similar sucede con *Cedrela montana*, que no presentan diferencias significativas entre la retención de material particulado y el área foliar.



**Figura 10.** Correlación entre Material particulado y área foliar



## Discusión

### 7.1 Calcular la abundancia y riqueza de especies leñosas presentes en las zonas de estudio.

Las riberas de los ríos cuentan con una distribución vegetal desigual y heterogénea, por lo que sus comunidades resultantes son diversas y diferentes (Gamarra et al., 2008), además que los ríos urbanos influyen significativamente en la conformación espacial y social de las ciudades (Hermida et al., 2015).

Basado en anteriormente mencionado, la presente investigación se llevó a cabo en 3 parcelas establecidas en cada uno de los ríos de la ciudad de Cuenca, las cuales no abarcan toda el área urbana que comprenden las riberas de los ríos, no así se presenta la investigación realizada por Orellana & Landi, (2023) quienes en su investigación abarcaron a toda la ribera del río Tarqui de la zona urbana de Cuenca y pese a esta diferencia de captación de información, los datos obtenidos fueron similares pese a que se encontró un mayor número de especies, *Eucalyptus globulus* sigue siendo la especie dominante que ocupa un mayor número de individuos por especie al igual que *Alnus acuminata* especies que presentan tercer puesto de importancia respectivamente según el número de individuos, lo que refuerza los resultados obtenidos en esta investigación.

En el río Yanuncay la producción de áreas verdes no contribuyen a una sostenibilidad ecológica y por ende a la biodiversidad urbana Cordero et al., (2015), esta misma investigación realizada por Orellana & Landi (2023), al igual que en el río Tarqui consiguen a *Eucalyptus globulus* como las especies más abundantes en las zonas ribereñas urbanas, en cuanto se refiere a la zona urbana del río Tomebamba, se menciona una gran biodiversidad de especies que actualmente están desapareciendo en el área urbana, incluso están en competencia con *Eucalyptus globulus*, es decir existe también una amplia presencia de estos especímenes (Cabrera, 2016; Pesantez, 2015 y Amón & López, 2020), valores que concuerdan con esta investigación ya que Tomebamba fue el río de mayor diversidad alfa 2,21 en referencia con el resto de ríos estudiados y pese que existieron mayor número de especies identificadas *Eucalyptus globulus* continúa siendo la especie más destacada.

Continuando con el río Machángara el cual presenta una gran diversidad de especies en todo su trayecto a nivel de microcuenca, pero al ingresar al área urbana la situación cambia totalmente, con un gran deterioro al punto de necesitar una “urgente recuperación” (PDOT, 2021), datos que se pudieron reforzar mediante esta investigación ya que en el río Machángara se pudo identificar tan solo 6 especies, un índice de Shannon bajo (1,45).

En general Samaniego (2020) menciona que en el caso de Cuenca el establecimiento de áreas verdes no se planifica con una visión educativa, tradicional y cultural, sino que al contrario se han basado en la estética y rápido crecimiento por lo que han usado plantas exóticas o introducidas de otros lugares, lo que genera competencia a la vegetación nativa.

Estos resultados obtenidos pueden también ser atribuidos a la repoblación forestal de 1960 a 1970 de la ciudad de Cuenca en donde se llevó a cabo la reforestación con especies de *Eucalyptus globulus* a cargo del Centro de Reconversión Agrícola (CREA), se cree que por procesos naturales a lo largo del tiempo se ha dado su repoblación natural a lo largo de las áreas de influencia inmediata de los sectores reforestados (Orellana, 2011). Otros resultados obtenidos por Minga *et al.* (2016), Chacón (2007) y Cordero *et al.*, (2015) nos muestran que en Cuenca, la biodiversidad de plantas leñosas es muy baja y el porcentaje de plantas vasculares leñosas introducidas registradas es alto y aún más al referirnos al número de individuos registrados por la especie *Eucalyptus globulus*, el cual ocupa los mayores porcentajes de incidencia en todos los casos, los resultados de diferentes autores mencionados nos sugiere una baja diversidad en los ríos de Cuenca

## **7.2 Estimar la cantidad de material particulado que retienen las diferentes especies leñosas de acuerdo a sus características foliares (área foliar).**

Por los resultados obtenidos en este trabajo investigativo se pudo deducir la alta intervención de *Ligustrum japonicum* en la captación de material particulado en sus hojas ya que obtuvo un valor medio y un alto valor de PST todo esto pese a su bajo valor de Área foliar y aunque esta contribución es positiva para el medio ambiente y los seres humanos (Cardona & Bermúdez, 2019), Egas *et al.* (2018) nos menciona que un alto contenido de contaminantes en las hojas de los árboles podría ocasionar un efecto negativo en el funcionamiento biológico de los árboles, aunque también, se debe tener en cuenta que se ha comprobado que algunos tipos de vegetación urbana capturan más que otra sin referenciarse en la cantidad de follaje o área foliar, sino más bien en las características del mismo (Beckett *et al.*, 2001) citado por Duran & Alzate (2009).

Podemos encontrar una gran cantidad de estudios enfocados en los beneficios de los árboles en la mitigación de material particulado sin embargo no existe mucha literatura enfocada en cuantificar este servicio ecosistémico en las especies, y pese a que *Eucalyptus globulus* es la especie dominante no se obtuvieron valores altos, pero no representativos, en la captación de material particulado en sus hojas, esto puede deberse a su capacidad de aclimatación al ambiente en cuanto al cambio cualitativo de la estructura de las hojas (número, distribución y

tamaño de estomas como longitud, biomasa y área foliar) (Guanaschelli et al. 2009 ) lo que le permitiría ser eficaz en la captura de material particulado y no disminuir la capacidad de su función fisiológica (fotosíntesis).

En el caso de PST no se registraron diferencias significativas lo que puede atribuirse a condiciones estables del contaminante (Alarcón et al., 1995) mencionado por Duran et al., (2009) durante los periodos de colecta de muestras en los sitios muestreados ya que la contaminación atmosférica tiene comportamientos variables sujetos a cambios según el lugar, tiempo, entre otros factores, también como lo menciona Huerta (2020) en su estudio que la comparación en la acumulación de material particulado se dificulta en sitios muy heterogéneos tal como nuestros sitios de estudio en donde podemos encontrar como ejemplos a *Eucalyptus globulus* bien representado en su número de individuos en relación de 10 especies representados por un solo individuo.

### **7.3 Obtención de la biomasa aérea y mediante el uso de ecuaciones alométricas el carbono aéreo de las especies leñosas presentes en el área de estudio.**

*Eucalyptus globulus* resultó ser la especie que obtuvo mayores valores en su biomasa aérea y captación de carbono, datos que concuerdan con lo obtenido por Gasteiz (2014) quien compara el crecimiento de esta especie frente otras coníferas y frondosas obteniendo a *Eucalyptus globulus* como la especie de mayor crecimiento anual de biomasa aérea, datos similares lo encontramos en el estudio realizado por Espinoza & López (2023) en donde a pesar de que *Eucalyptus globulus* representó un 5,38% de abundancia fue la especie que obtuvo mayor CO<sub>2</sub> capturado es decir mayor cantidad de biomasa y carbono retenidos, estos resultados también se los puede atribuir a la cantidad de individuos por especies dentro de una parcela (Chimbo. 2016) pese a que en general se considera que el género *Eucalyptus* presenta una mayor captación de carbono, considerados incluso sumideros de carbono que concentran este material en el fuste; Ramírez & Chagna (2019) divulgó datos en los cuales se registra en promedio 0,75 t de carbono secuestrado por árbol.

Su gran capacidad de almacenaje de carbono hace que físicamente su diámetro de tronco y altura sean mayores, lo que al estar ubicado en sectores urbanos hace susceptibles a los moradores de desastres y daños por posibles caídas (Flores, 2009), en Cuenca la EMAC EP identificó 2000 árboles en peligro de caer en diferentes sectores de la ciudad en su gran mayoría se trataron de especies de eucalipto, además de incidentes ya suscitados de la caída de los especímenes causando daños materiales y humanos (Sánchez, 2022).

## 7.4 Correlaciones

### **Correlación entre la cantidad de carbono capturado y la diversidad de especies**

#### **leñosa**

Jiménez (2021), Raj et al., (2018) y Figueroa et al. (2005) nos mencionan que existe una relación entre la biodiversidad y el almacenamiento de carbono y relaciona también estos resultados obtenidos a la conformación de los ecosistemas tanto como número de individuos, especie y sus cualidades como altura, diámetro a la altura del pecho del tallo, edad, densidad de madera e incluso se menciona el suelo y raíces que cumplen funciones de captura de carbono y el cambio que existe en la interacción de estas variables, las correlaciones realizadas en esta investigación desembocan en un resultado similar, esto debido también a la dependencia de las variables para el cálculo de la biomasa forestal y por consiguiente (de esto el 47%) el contenido de carbono.

### **Correlación entre la cantidad de particulados retenidos con las características**

#### **foliares de las especies en estudio (área foliar).**

En los casos presentados en las especies *Ligustrum japonicum*, *Delostoma integrifolium* y *Cedrela montana* no existe una tendencia esperada de a mayor área foliar mayor particulado retenido, datos que concuerdan con los resultados obtenidos por Beckett (1998) y citado por Durán & Alzate (2009) por que al igual que esta investigación han comprobado que especies con un AF menor retienen mayor cantidad de material particulado que lo atribuyen a hojas anchas que no favorecen la turbulencia, y este factor es el que permite la descarga de material particulado sobre el follaje, por otro lado el resultado obtenido en esta investigación referente a la captación de polvos en las hojas de *Eucalyptus globulus* no es significativo, dato contradictorio a lo encontrado por Huerta (2020) en donde se denomina a *Eucalyptus globulus* efectiva en la captación del material particulado dentro de un grupo de especies.

## Conclusiones

Podemos finalizar con la amplia dominancia de la especie *Eucalyptus globulus* ya que está encabeza el número de individuos por especie y además se encuentra dominando cada una de las parcelas estudiadas, es así que la diversidad de los ríos de Cuenca en este estudio resultó baja excepto por el río Tomebamba que aunque su biodiversidad fue media obteniendo el mayor número de especies estas no se encontraron mayormente representados por la cantidad de individuos presentes e incluso la parcela tuvo el menor número de individuos vegetales identificadas, contrario a lo que sucedió con el río Yanuncay que presentó el mayor número de individuos vegetales pero el menor número de especies identificadas, *Salix babilónica* representa la segunda especie de dominancia al igual que *Eucalyptus globulus* fue identificada en todos los ríos de la ciudad.

En la estimación de particulados de acuerdo el área de las hojas se obtuvo un resultado interesante ya que pese a la dominancia de *Eucalyptus globulus* en las especies identificadas fue la especie *Ligustrum japonicum* la que resultó obtener una mayor cantidad retención de material particulado en la superficie de las hojas (PST) lo que se le atribuyó al tamaño pequeño de sus hojas y *Acacia melanoxylon* a la cual también se le podría atribuir este beneficio derivado de su morfología y la capacidad que estas características suman a la retención de particular, sin embargo no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la retención de PST entre las especies evaluadas .

La biomasa área vegetal se encuentra totalmente relacionada con el carbono almacenado (es decir a mayor biomasa mayor carbono aéreo almacenado), *Eucalyptus globulus* muestra ser una especie altamente efectiva en la retención de carbono en su estructura, desarrollando fustes más largos y anchos en relación con el resto de especies vegetales y aunque existen especies que también tienen un alto rendimiento en la acumulación de carbono, (*Acacia dealbata*, *Acacia melanoxylon*, *Alnus acuminata* Kunth, *Alnus glutinosa*, *Callistemon salignus*, *Cedrela montana*, *Eriobotrya japonica* (Thunb.), *Erythrina edulis*, *Eugenia uniflora*, *Pinus patula*, *Prunus serótina*, *Salix babilónica*, *Tecoma stans*, *Tilia platyphyllos*) se evidencio que *Eucalyptus globulus* es estadísticamente mayor a todos, mientras que también existe un alto número de especies poco efectivas (*Annona cherimola*, *Cupressus macrocarpa*, *Delostoma integrifolium*, *Inga edulis*, *Inga insignis*, *Juglans regia*, *Ligustrum japonicum*, *Myrcianthes rhopaloide*, *Pittosporum undulatum*, *Viburno rhytidophyllum*)

Dentro de las correlaciones realizadas podemos encontrar que si existe una relación positiva entre la cantidad de carbono capturado y el número de especies, por lo que se estima que exista

mayor cantidad de carbono capturado al aumentar el número de individuos por especie, por otro lado existe una mayor relación en cuanto a las variables altura y dap ya que están interfieren directamente en el cálculo de biomasa y carbono de las especies, al igual que el dap se vio influenciado por el número de especies, finalmente podríamos inferir que la diversidad de especies dentro de una parcela modifica ampliamente su capacidad de retención de carbono por la correlación entre carbono y número de especies clasificado por los ríos estudiados.

Existe una relación positiva entre la cantidad de particulados retenidos con las características foliares de las especies en estudio (área foliar) pese a que esta relación es variable más bien casi no existe una mayor relación, a lo que se atribuyen otras características morfológicas de las hojas como pubescencias, estomas, entre otras las que estarían influenciado estos resultados, por su parte la relación número de especies y material particulado interceptado por las hojas es negativa, esto debido a que especies como *Ligustrum japonicum* que teniendo un bajo número de individuos obtuvo una alta cantidad de material particulado y especies con alto número de individuos no superaron los valores de material particulado.

### Recomendaciones

Por los resultados obtenidos es necesario generar mayor información sobre la diversidad y estado de especies en las riberas de cada uno de los ríos que abarque información de toda la zona urbana, lo que nos permitiría tener un control sobre las especies presentes, los riesgos que generan a la población, necesidades como podas y planificaciones para las autoridades.

Es también importante contribuir con más investigaciones que se basen en la captación de carbono en la estructura de especies nativas o endémicas de Cuenca que nos permitan conocer la existencia o ausencia de este beneficio ecosistémico y su aplicación en las zonas riberas de los ríos a más de sus beneficios tradicionales.

Se recomienda a las entidades competentes llevar un seguimiento, mantenimiento y control de las especies leñosas plantadas en especial de las especies de eucalipto que presentan gran tamaño y pueden significar un riesgo en los sectores en los que se ubican además de controlar su distribución.

Se recomienda también hacer una investigación sobre la retención de material particulado enfocado en especies poco estudiadas como *Acacia melanoxylon*, *Cedrela montana*, *Delostoma integrifolium*, *Ligustrum japonicum*, *Pittosporum undulatum*, *Viburno rhytidophyllum*, *Eriobotrya japonica*, *Salix babylonica* que, aunque no presentaron diferencias estadísticamente significativas presentaron los mayores valores de retención de particulado.

### Referencias

- Águila, E., Chang, O., Cárdenas, Y. y Bernal, N. (2013). Evaluación ecotoxicológica de extractos acuosos de plantas en semillas de rábano, lechuga y tomate. *Centro Agrícola*, 40 (1), 83:87
- Alarcón, G., Gómez, J. y Quiceno, R. (1995). Modelo de dispersión de material particulado para el Valle de Aburrá. *Cont. Amb.* 15, 29:40
- Antunez, A y Guaboquiza, L. (2019). La contaminación ambiental en los acuíferos del Ecuador. *Visión contable*. 64:101. <https://dx.doi.org/10.24142/rvc.n19a4>
- Aponte, C. (2017). Evaluación de la retención de material atmosférico en suspensión por el arbolado de un corrector vial de la localidad de Kennedy. Tesis de pregrado. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá-Colombia.
- Arrien, A., Cerezo, O., Tobalina, M., Nahia, G. y González, A. (2014). Sumideros de carbono de la comunidad autónoma del País Vasco. Capacidad de secuestro y medidas para su promoción. Departamento de Medio Ambiente y Política Territorial del Gobierno Vasco.
- Beckett, K. (1998). t. "Particulate pollution removal by Urban Trees". [http://www.biols.susx.ac.uk/Horne/Kevin\\_Becket](http://www.biols.susx.ac.uk/Horne/Kevin_Becket)
- Beckett, K., Freer, P. y Taylor, G. (2001). Particulate pollution captured by urban trees: effect of species and wind speed. *Global change in biology*. (6) 1995-1003.
- Cabrera, S. (2016). Segregación en las márgenes de los ríos de Cuenca: Estudio del caso del río Tomebamba. Trabajo de titulación. Universidad de Cuenca. Facultad de arquitectura y urbanismo.
- Cano, E. (1993). Relación alométrica entre el área foliar y el área de la altura en *Pinus patula* Schl. et Cham., en Zacatlán, Puebla (Tesis de maestría). Colegio de Postgraduados, Montecillo-México.
- Cardona, K. y Bermúdez, V. (2019). Arbolado urbano como estrategia de gestión de la calidad del aire. Especialización en Gestión Ambiental. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia.



- Chave, J., Réjou, M., Burquez, A., Chidumayo, E., Colgan, M., Delitti, W., Duque, A., Eid, T., Fearnside, P., Goodman, R., Henry, M., Martinez, A., Mugasha, W., Muller, H., Mencuccini, M., Nelson, B., Ngomanda, A., Nogueira, E., Ortiz, E. y Vieilledent, G. (2014). Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology*, 20, 3177:3190. <https://doi.org/10.1111/gcb.12629>
- Cobeña, G. y Gonzales, C. (2020). Análisis de la contaminación del agua e incidencia por consumo en la salud de la población del sitio Río Santo parroquia Ricaurte del Cantón Chone, año 2017. *Revista Científica Arbitrada de Posgrado y Cooperación Internacional CLAUSTRO*.3(5) Recuperado de:  
<https://publicacionescd.ulead.edu.ec/index.php/claustro/article/view/136>
- Chacón, G. (2007). Ecología y ciudades: Cuenca y la sostenibilidad. *Revista de la Universidad de Azuay*.43, 183:201
- Chimbo, I. (2016). Evaluación del carbono en la biomasa de dos especies forestales introducidas (*Eucalyptus* y *Pinus*) y una especie nativa (*Hesperomeles ferruginea*) en el bosque Aguarongo. Trabajo para la obtención del título de Ingeniero Ambiental. Universidad Politécnica Salesiana. Cuenca- Ecuador.
- 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). DOI:10.18537/mskn.06.01.09
- Dixon, R., Brown, S., Houghton, R., Solomon, A., Trexler, M. y Wisniewski, J. (1994). Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science*, 263, 185-190. DOI:10.1126/science.263.5144.185
- 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.
- Dzierzanowski, K., R. Poppek, R., Gawronska, H., Saebo, A y Gawronski, S. (2011) Deposition of particulate matter of different size fractions on leaf surfaces and in waxes of urban forest species, *Int. J. Phytoremediation*, 13, 1037:1046.

- 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)111-1118. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000400111>
- EMOV. (2021). Informe de calidad de Aire. Alcaldía de Cuenca 2021. IERSE.
- Espinoza, B. y López, S. (2023). Estimación del carbono capturado por las especies vegetales presentes en las riberas del río Burgay dentro de la zona urbana de la ciudad de Azogues – Ecuador. Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Ambiental. Universidad Politécnica Salesiana.
- FAO. (2022). El estado de los bosques del mundo 2022. Vías forestales hacia la recuperación verde y la creación de economías inclusivas, resilientes y sostenibles. Roma, FAO. <https://doi.org/10.4060/cb9360es>
- FECHAC. (2021). Nuestro compromiso con los ODS - Objetivos de Desarrollo Sostenible. Fundación de Empresariado Chihuahuense. Obtenido de: [https://fechac.org.mx/app\\_fechac/\\_files/\\_img/\\_documents/012821-160142\\_rf-1-03compromisodefchacconlosodsrev1.pdf?gclid=Cj0KCQjwtO-kBhDIARIsAL6LorcOsWcZGIONaqhZOh9gAllajgFADZG6QOfMhSX5RtZJWUSckw52iI4aAIBeEALw\\_wcB](https://fechac.org.mx/app_fechac/_files/_img/_documents/012821-160142_rf-1-03compromisodefchacconlosodsrev1.pdf?gclid=Cj0KCQjwtO-kBhDIARIsAL6LorcOsWcZGIONaqhZOh9gAllajgFADZG6QOfMhSX5RtZJWUSckw52iI4aAIBeEALw_wcB)
- Fehse, J., Hofstede, R., Aguirre, N., Paladines, C., Kooijman, A. y Sevink, J. (2002). High altitude tropical secondary forests: a competitive carbon sink?. *Forest Ecology and Management*, 163 (1), 9-25. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(01\)00535-7](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00535-7)
- Feijoó, S. (2019). Proyección energética y de emisiones del sector transporte en el cantón Cuenca, utilizando el modelo LEAP. Trabajo de titulación. *Universidad Politécnica Salesiana*, Cuenca-Ecuador.
- Fernández, M. (2017). Revisión de métodos para la estimación de captura de carbono almacenadas en bosques naturales. Tesis de maestría. Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá-Colombia.

- Ferriol, M.; Muñoz, S.; López, C.; Merle, H. y Garmendia, A. (2014). Capacidad de retención de polvo contaminante de distintas especies de árboles ornamentales en la ciudad de Valencia. XVI Congreso (2014). *Nacional de Arboricultura*.
- Figuroa, C., Etchevers, B., Velazquez, Ay Acosta, M. (2005). Concentración de carbono en diferentes tipos de vegetación de la sierra Norte de Oaxaca. *Terra*. 23(1).
- Flores, E. (2009). Efecto de las plantaciones de eucalipto (*Eucalyptus globulus L.*) sobre los suelos de comunidades asentadas en la red ferroviaria de Cochabamba – Cliza. *Acta Nova*. 4(2-32).
- Fonseca, W. (2017). Revisión de métodos para el monitoreo de biomasa y carbono vegetal en ecosistemas forestales tropicales. *Revista de Ciencias Ambientales*, 51 (2), 91:109. DOI: <https://doi.org/10.15359/rca.51-2.5>
- Gamarra, O., Barrena, M., Ordinola, C., Barboza, E., Leiva, D., Rascón, J. y Corroto, F. (2018). Calidad del bosque de ribera en la cuenca del río Utcubamba, Amazonas, Perú. *Arnaldoa*, *Scielo*. <http://dx.doi.org/http://doi.org/10.22497/arnaldoa.252.25218>
- Gasteiz, V. (2014). Sumideros de carbono de la comunidad autónoma del país Vasco – Capacidad de secuestro y medidas para su promoción. *Ecoedición*. Ed. 1. Cap. 4 y 5.
- Gonzáles, G., Zevallos, A., Gonzales, C., Nuñez, D., Gastañaga, C., Cabezas, C., Naeher, A., Levy, K. y Steenland, K. (2014) Contaminación ambiental, variabilidad climática y cambio climático: una revisión del impacto en la salud de la población peruana. *Perú Med Exp Salud Publica*, 31 (3), 547:556.
- Granados, D; Hernández, M y López. (2006). Ecología de las zonas ribereñas. Chapingo. *Serie de Ciencias Forestales y del Ambiente*. 12(1). 55.69. Universidad Autónoma de Chapingo.
- Guanaschelli, A., Mantese, A. y Anabela Battaaglia. (2009). Cambios anatómicos y morfológicos en plántulas de *Eucalyptus sp.* En respuesta a diferentes niveles de luz. *Boletín de la sociedad argentina de botánica*. 44(3-4).
- Haines, A. y Patz J. (2004). Health Effects of Climate Change. *JAMA network*, 291 (1), 99:105. DOI: 10.7818/ECOS.2016.25-2.13.

- Hermida, M. A., Hermida, C., Cabrera, N., y Calle, C. (2015). La densidad urbana como variable de análisis de la ciudad: El caso de Cuenca, Ecuador. *Eure*, 41(124), 25:44. <https://doi.org/10.4067/s0250-71612015000400002>
- Hubenthal, A. (2010). Evaluación del sector transporte ecuatoriano en Ecuador con miras a plantear medidas de mitigación al Cambio climático. *United Nations Development Programme*, pp. 24. Recuperado de [https://www.academia.edu/26937688/Evaluaci%C3%B3n\\_del\\_sector\\_transporte\\_en\\_Ecuador\\_con\\_miras\\_a\\_plantear\\_medidas\\_de\\_mitigaci%C3%B3n\\_al\\_Cambio\\_Clim%C3%A1tico](https://www.academia.edu/26937688/Evaluaci%C3%B3n_del_sector_transporte_en_Ecuador_con_miras_a_plantear_medidas_de_mitigaci%C3%B3n_al_Cambio_Clim%C3%A1tico)
- Huerta, C. (2020). Variación estacional de la deposición del material particulado, capturado en la flora urbana de la zona poniente de Morelia Michoacán. Tesis para el título de Maestría en Geociencias y Planificación de Territorio.
- IPCC. (2002). Cambio climático y biodiversidad. Documento técnico V del IPCC. Obtenido de: <https://archive.ipcc.ch/pdf/technical-papers/climate-changes-biodiversity-sp.pdf>
- IPCC. (2007). Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los grupos de trabajo I, II y III al cuarto informe de evaluación del grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático. *Intergovernmental Panel on Climate Change*. Ginebra-Suiza. Editor Parry, M.
- Jiménez, A. (2021). La diversidad mejora el almacenamiento de carbono en los bosques tropicales. *RECIMUNDO*. 5(3) 316:323. Doi: 10.26820/recimundo/. 5.(3).sep.2021.316-323
- Julio, M., Ocaña, F. y Concha, J. (2021). Contaminación ambiental y su influencia en la salud. *Renaciente*, 2 (1), 75:90.
- Leps, J., De Bello F., Lavorel, S y Berman S. (2006). Quantifying and interpreting functional diversity of natural communities: practical considerations matter. *Preslia*. 78 (4),pp 481-501.
- López, B., Gonzales, S., Diaz, I., Castro, I. y García, M (2007). Biodiversidad y bienestar humano: el papel de la diversidad funcional. *Asociación Española de Ecología Terrestre*. 16(3), 69:80.

- López, C. (1988). Modelos para estimación de biomasa de *Pinus cembroides* Zucc. (Tesis de pregrado). Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo-México.
- López, M., Elizeche, K., Parra, A. y Rodas, O. (2016). El cambio climático, los bosques y las medidas para reducir las emisiones provenientes de la deforestación. World Wildlife Found INC.
- Margalef, R. 1972. Homage to E. Hutchison, or why is there an upper limit to diversity. *Transactions of the Connecticut Academy of Arts and Sciences* 44: 21-235.
- MEA. (2005). *Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis*. Island Press, Washington, DC.
- Mejía, V. (2014). El proceso de urbanización en el Ecuador: caso de estudio Cuenca. Universidad Politécnica de Cataluña. Master en Gestión y valoración urbana.
- Mezáros, E. (1999). Fundamentals of Atmospheric Aerosol Chemistry. *Akadémiai Kiado. Book Reviews*. 99:103.
- Minga, D. y Verduga, A. (2016). Árboles y arbustos de los ríos de Cuenca. Serie Textos Apoyo a la Docencia Universidad del Azuay. Imprenta Don Bosco. Cuenca.
- Moscoso, D., Monroy, L., Narváez, M., Espinosa, C. y Astudillo, A. (2019). Efecto fitotóxico recolectado en el área urbana de la ciudad de Cuenca, Ecuador. *ITECNE*. 16 (1). 12:20. DOI: <https://doi.org/10.15332/v16i1.2157>
- Naula, P. (2021). Descripción organoléptica de la madera de cinco especies forestales mediante tinciones, procedentes del sector pepinales, cantón Alausí, provincia del Chimborazo. Trabajo de titulación Riobamba - Ecuador.
- Naiman, R y Decamps, H. eds (1990). *The ecology and management of aquatic terrestrial ecotones*. Paris: UNESCO, Park Ridge: Paternon
- ONU. (2020). El mundo registra una concentración récord de dióxido de carbono a pesar de la COVID-19. ONU de: <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/el-mundo-registra-concentracion-record-de-dioxido-de-carbono-pegar>

- Orellana, A. y Landi, E. (2023). Estimación de la captura de Carbono de la flora arbórea de las riberas del Río Tarqui en la zona urbana de la ciudad de Cuenca, Ecuador. Trabajo de titulación. Universidad Politécnica Salesiana.
- Orellana, D. (2011). Hacia la ordenación de los territorios de protección natural del área de influencia inmediata de la ciudad de Cuenca: plan de ordenamiento de la microcuenca del Río Tarqui. Universidad de Cuenca. Facultad de arquitectura y urbanismo. Tomo 1.
- PDOT. (2021). Planes PDOT-PUGS 2022 | GAD MUNICIPAL DEL CANTÓN CUENCA. <https://urlzs.com/VSKaN>
- Pesantez, J. (2015). Propuesta de modelo de gestión de la subcuenca del río Tomebamba, como herramienta de manejo integrado y conservación. Universidad del Azuay. Trabajo previo a la obtención del grado de magíster en Gestión Ambiental.
- Raj, D., Gómez, H., García, N., Ruiz, O., Molina, L., Jiménez, J., Venegas, J., Pinto, R., Ley, A. y Guevara, F. (2018). Potencial de almacenamiento de carbono en áreas forestales en un sistema ganadero. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 9(48). DOI:<https://doi.org/10.29298/rmcf.v8i48.184>
- Ramírez, J y Chagna, E. (2019). Secuestro de carbono en la biomasa aérea de una plantación de *Eucalyptus grandis* W. Hill. *Cforest*. 7(1) 86-97
- RIMAY. (2004). Corredor urbano del río Tomebamba Informe final, borrador para revisión. Recuperado de: <http://www.congope.gob.ec/wp-content/uploads/2017/04/03FP08-0101-an-infC.pdf>
- Russo, R. (2009). Guía práctica para la medición de la captura de Carbono en la biomasa forestal. *ResearchGate*. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/236593400\\_GUIA\\_PRACTICA\\_PARA\\_LA\\_MEDICION\\_DE\\_LA\\_CAPTURA\\_DE\\_CARBONO\\_EN\\_LA\\_BIOMASA\\_FORESTAL](https://www.researchgate.net/publication/236593400_GUIA_PRACTICA_PARA_LA_MEDICION_DE_LA_CAPTURA_DE_CARBONO_EN_LA_BIOMASA_FORESTAL)
- Samaniego, B. (2020). Revitalización de las márgenes del río Tomebamba Tramo comprendido entre la calle Los Cerezos y Avenida Unidad Nacional. *Universidad del Azuay*.
- Samaniego, J., Sanchez, J. y Alatorre, J. (2022). Medio ambiente y desarrollo en un contexto centro-periferia. *Scielo*. 89(353). <https://doi.org/10.20430/ete.v89i353.1422>.

- Sánchez, C. (2022). En cuenca hay 2000 árboles identificados en riesgo de caer. *El Mercurio*. Recuperado de: <https://elmercurio.com.ec/2022/02/17/en-cuenca-hay-2-000-arboles-identificados-en-riesgo-de-caer/>
- Schlegel, B., Gayoso, J. y Guerra, J. (2001). Manual de procedimientos para inventarios de carbono en ecosistemas forestales (Proyecto). Universidad Austral de Chile, Valdivia-Chile.
- Tilman, D. (2001). Functional Diversity. *Encyclopedia of Biodiversity*, 3, 109:120. <https://doi.org/10.1006/rwbd.1999.0154>
- Tzoulas, K. y James, P. (2010). Making biodiversity measures accessible to non-specialists: an innovative method for rapid assessment of urban biodiversity. *Urban Ecosyst.*, 13, 113:127
- Ulloa, R. (2013). Biocorredores: una estrategia para la conservación de la biodiversidad, el ordenamiento territorial y el desarrollo sustentable en la zona de planificación 1 (Carchi, Imbabura, Esmeraldas y Scumbios). Dirección Provincial del Ambiente de Imbabura - Coordinación Zonal. Mesa Técnica de Trabajo de Biocorredores. Ministerio del Ambiente del Ecuador. Conservación Internacional del Ecuador y Fundación Altropico. Ibarra-Ecuador, pp. 335.
- Vázquez, A. y Arellano, H. (2012). Estructura, Biomasa aérea y Carbono almacenado en los bosques del Sur y Noroccidente de Córdoba. Recuperado de <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1208/1208.0248.pdf>
- Zambrano, J., Delgado, A., Zambrano, E. y Peñaherrera, S. (2022). Contaminantes biológicos presentes en fuentes de agua del centro-sur de la provincia de Manabí - Ecuador. *Siembra*. 9(2) <https://doi.org/10.29166/siembra.v9i2.4011>
- Zanne, A., Lopez, G., Coomes, A., Ilic, J., Jansen, S., Lewis, S., Miller, R., Swenson, N., Wiemann, M. y Chave, J. (2009). Global wood density database. Dryad. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10255/dryad.235>.

## Anexos

## Anexo A. Especies y número de individuos encontrados en el río Tarqui.

Especie	Nombre Científico	Número de individuos
Sauce llorón	<i>Salix babylonica</i>	4
Guaylo	<i>Delostoma integrifolium</i>	1
Aliso	<i>Alnus glutinosa</i>	5
Nogal	<i>Juglans regia</i>	1
Eritrina	<i>Erythrina edulis</i>	1
Eucalipto	<i>Eucalyptus globulus</i>	71
Chirimoya	<i>Annona cherimola</i>	1
Pino	<i>Pinus patula</i>	2
Ciprés	<i>Cupressus macrocarpa</i>	1
Total de individuos		87

## Anexo B. Especies y número de individuos encontrados en el río Yanuncay.

Especie	Nombre Científico	Número de individuos
Eucalipto	<i>Eucalyptus globulus</i>	83
Mirto	<i>Ligustrum lucidum</i>	1
Sauce llorón	<i>Salix babylonica</i>	2
Guasimo	<i>Viburno rhytidophyllum Helms</i>	1
Total de individuos		87

## Anexo C. Especies y número de individuos encontrados en el río Tomebamba.

Especie	Nombre Científico	Número de individuos
Eucalipto	<i>Eucalyptus globulus</i>	21
Sauce llorón	<i>Salix babylonica</i>	7
Capulí	<i>Prunus serótina</i>	4
Eugenia	<i>Eugenia uniflora</i>	1
Fresno	<i>Tecoma stans</i>	7
Hual	<i>Myrcianthes rhopaloide</i>	1

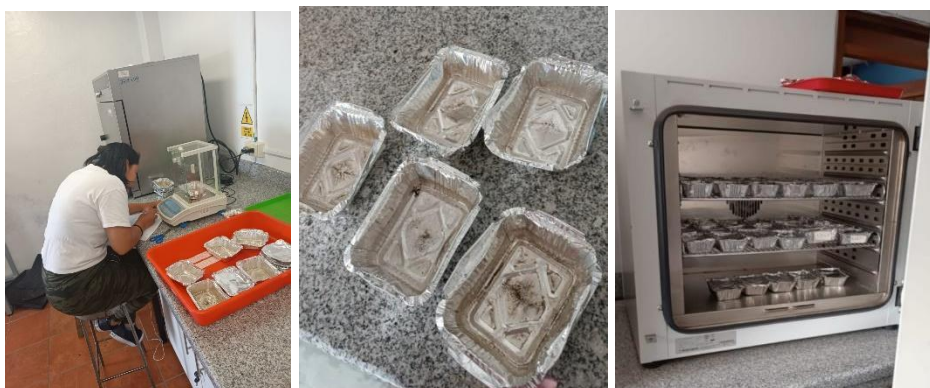


Tilo	<i>Tilia platyphyllos</i>	1
Acacia	<i>Acacia dealbata</i>	1
Cepillo blanco	<i>Callistemon salignus</i>	7
Guaba	<i>Inga insignis</i>	4
Huesito	<i>Pittosporum undulatum</i>	4
Cedro de montaña	<i>Cedrela montana</i>	2
Aliso	<i>Alnus acuminata</i>	1
Níspero	<i>Eriobotrya japonica</i> (Thunb.) Lindl.	5
Total de individuos		66

**Anexo D.** Especies y número de individuos encontrados en el río Machángara.

Especie	Nombre Científico	Número de individuos
Tilo	<i>Tilia platyphyllos</i>	1
Aliso	<i>Alnus acuminata</i> Kunth	17
Eucalipto	<i>Eucalyptus globulus</i>	35
Acacia	<i>Acacia dealbata</i>	20
Sauce llorón	<i>Salix babylonica</i>	11
Cepillo blanco	<i>Callistemon salignus</i>	3
Total de individuos		87

**Anexo E.** Trabajo de laboratorio (Obtención de material particulado)



Anexo F. Ejemplo de imágenes utilizadas para el software Image J.



**Anexo G.** Gráfico de la Correlación entre número de especies y carbono almacenado en las especies leñosas

